
Nicolae Sfetcu
GRAVITAȚIA
MultiMedia Publishing

GRAVITAȚIA

Nicolae Sfetcu

Publicat de MultiMedia Publishing

PREVIZUALIZARE CARTE

Publicat de MultiMedia Publishing, Drobeta Turnu Severin, 2019, www.setthings.com/editura

ISBN: 978-606-033-250-3

1. Gravitația pre-newtoniană

Gravitația este un fenomen natural prin care toate lucrurile cu masă sunt aduse spre (sau gravitează) unul spre altul, inclusiv obiecte variind de la atomi și particule de lumină, planete și stele. Deoarece energia și masa sunt echivalente, toate formele de energie (inclusiv lumina) provoacă gravitație și sunt sub influența ei. Pe pământ, gravitația dă greutate obiectelor fizice, iar gravitația Lunii provoacă mareele oceanului. Atracția gravitațională a materiei gazoase inițiale prezentă în Univers a determinat-o să înceapă coalescența, formând stele - și ca stelele

să se unească în galaxii - astfel încât gravitația este responsabilă pentru multe dintre structurile de mari dimensiuni din Univers. Gravitația are o gamă infinită, deși efectele sale devin din ce în ce mai slabe pe obiectele mai îndepărtate.

În fizică, teoriile gravitației postulează mecanismele de interacțiune care guvernează mișcările corpurilor cu masă. Au existat numeroase teorii ale gravitației din cele mai vechi timpuri.

În secolul al IV-lea î.e.n., filosoful grec Aristotel credea că nu există efect sau mișcare fără cauză. Cauza mișcării în jos a corpurilor grele, cum ar fi elementul pământ, era legată de natura lor, ceea ce le făcea să se deplaseze spre centrul universului, care era locul lor natural. Dimpotrivă, corpurile luminoase, cum ar fi elementul de foc, se mișcă prin natura lor în sus spre suprafața interioară a sferei Lunii. Astfel, în sistemul lui Aristotel, corpurile grele nu sunt atrase de pământ de o forță exterioară a gravitației, ci tind spre centrul universului datorită *gravitas* interioare sau a greutății.

În Cartea VII din *De Architectura*, inginerul roman și arhitect Vitruvius susține că gravitația nu depinde de "greutatea" unei substanțe, ci mai degrabă de "natura" ei.

"*Dacă mercurul este turnat într-un vas și o piatră care cântărește o sută de kilograme este pusă pe el, piatra plutește la suprafață și nu se poate afunda în lichid, nici nu-l poate sparge și nici să-l separe. Dacă îndepărtăm greutatea de o sută de kilograme și punem un dram de aur, acesta nu va pluti, ci se va duce la fund de la sine. Prin urmare, este incontestabil faptul că gravitația unei substanțe depinde nu de cantitatea de greutate, ci de natura ei*".

Brahmagupta, astronomul și matematicianul indian a cărui lucrare a influențat matematica arabă în secolul al IX-lea, a susținut că pământul era sferic și că atrăgea obiecte. Al Hamdānī și Al Biruni citează pe Brahmagupta spunând: "*Dacă nu luăm în considerare acest lucru, spunem că pământul de pe toate părțile este același, toți oamenii de pe pământ stau în picioare și toate lucrurile grele cad pe pământ printr-o lege a naturii, pentru că este natura pământului de a atrage și de a păstra lucrurile, cum este natura apei să curgă, a focului să ardă și a vântului să pună în mișcare. Dacă un lucru dorește să meargă mai adânc decât pământul, să încerce. Pământul este singurul lucru jos, iar semințele se întorc întotdeauna la el, în orice direcție le puteți arunca, și nu se ridică niciodată de pe pământ.*"

Gravitația este descrisă cel mai bine de teoria generală a relativității (propusă de Albert Einstein în 1915), care descrie gravitația nu ca o forță, ci ca o consecință a curburii spațiutimpului cauzată de distribuția neuniformă a masei. Exemplul cel mai extrem al acestei curburi a spațiului este o gaură neagră, din care nimic - nici măcar lumina - nu poate scăpa odată trecut de orizontul evenimentului găurii negre. Cu toate acestea, pentru majoritatea aplicațiilor, gravitația este bine aproximată de legea lui Newton de gravitație universală, care descrie gravitația ca o forță care determină atragerea oricăror două corpuri între ele, cu forța proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele.

“Gravitația este forța care te trage în jos .” – afirmă Merlin în *The Sword in the Stone* a lui Disney.

Merlin a avut dreptate, desigur, dar gravitaţia face mult mai mult decât să ne ţină în scaun. Aici a fost geniul lui Isaac Newton, în a recunoaşte aceasta . Newton a amintit într- un memoriu ulterior că în timp ce încerca să îşi dea seama ce ţine luna de pe cer, a văzut un măr

căzând pe pământ în livada lui, şi aşa şi-a dat seama că Luna nu este suspendat pe cer, ci cade continuu, ca o ghiulea de tun care a fost trasă atât de rapid încât cade continuu spre Pământ dar fără să ajungă pe el datorită curburii acestuia.

Gravitația este cea mai slabă dintre cele patru forțe fundamentale ale fizicii, de aproximativ 10^{38} ori mai slabă decât forța tare, de 10^{36} ori mai slabă decât forța electromagnetică și de 10^{29} ori mai slabă decât forța slabă. Ca o consecință, nu are o influență semnificativă asupra nivelului particulelor subatomice. În schimb, este forța dominantă la scară macroscopică și este cauza formării, formei și traiectoriei (orbitei) corpurilor astronomice. De exemplu, gravitația determină Pământul și celelalte planete să orbiteze Soarele, de asemenea determină Luna să orbiteze Pământul și provoacă formarea de maree, formarea și evoluția Sistemului Solar, stele și galaxii.

Cel mai timpuriu exemplu de gravitație din Univers, posibil sub forma gravitației cuantice, supergravității sau singularității gravitaționale, împreună cu spațiul și timpul obișnuit, s-a dezvoltat în timpul epocii Planck (până la 10^{-43} secunde după nașterea Universului) posibil dintr-o stare primitivă, cum ar fi un vid fals, un vid cuantic sau o particulă virtuală, într-o manieră necunoscută în prezent. Încercările de a dezvolta o teorie a gravitației în concordanță cu mecanica cuantică, o teorie a gravitației cuantice, care ar permite ca gravitația să fie unită într-un cadru matematic comun (o teorie a tuturor lucrurilor) cu celelalte trei forțe ale fizicii, reprezintă o arie actuală de cercetare.

…………………

1.2 Fizica lui Aristotel

Fizica aristoteliană este o formă de știință naturală descrisă în lucrările filosofului grec Aristotel (384-322 î.e.n.). În lucrarea sa *Fizica*, Aristotel a intenționat să stabilească principiile generale ale schimbării care guvernează toate corpurile naturale, atât cele vii cât și neînsuflețite, celeste și terestre - inclusiv mișcarea, schimbarea în funcție de loc, schimbarea în funcție de mărime sau număr, schimbarea calitativă de orice fel; și "venind să fie" (începându-și existența, "generarea") și "plecând" (care nu mai există, "corupere").

Pentru Aristotel, "fizica" era un domeniu amplu care cuprindea subiecte precum filozofia minții, experiența senzorială, memoria, anatomia și biologia. Aceasta constituie fundamentul gândirii care stă la baza multora dintre lucrările sale.

Metode

”natura este peste tot cauza ordinii.”
- *Aristotel, Fizica VIII.1*

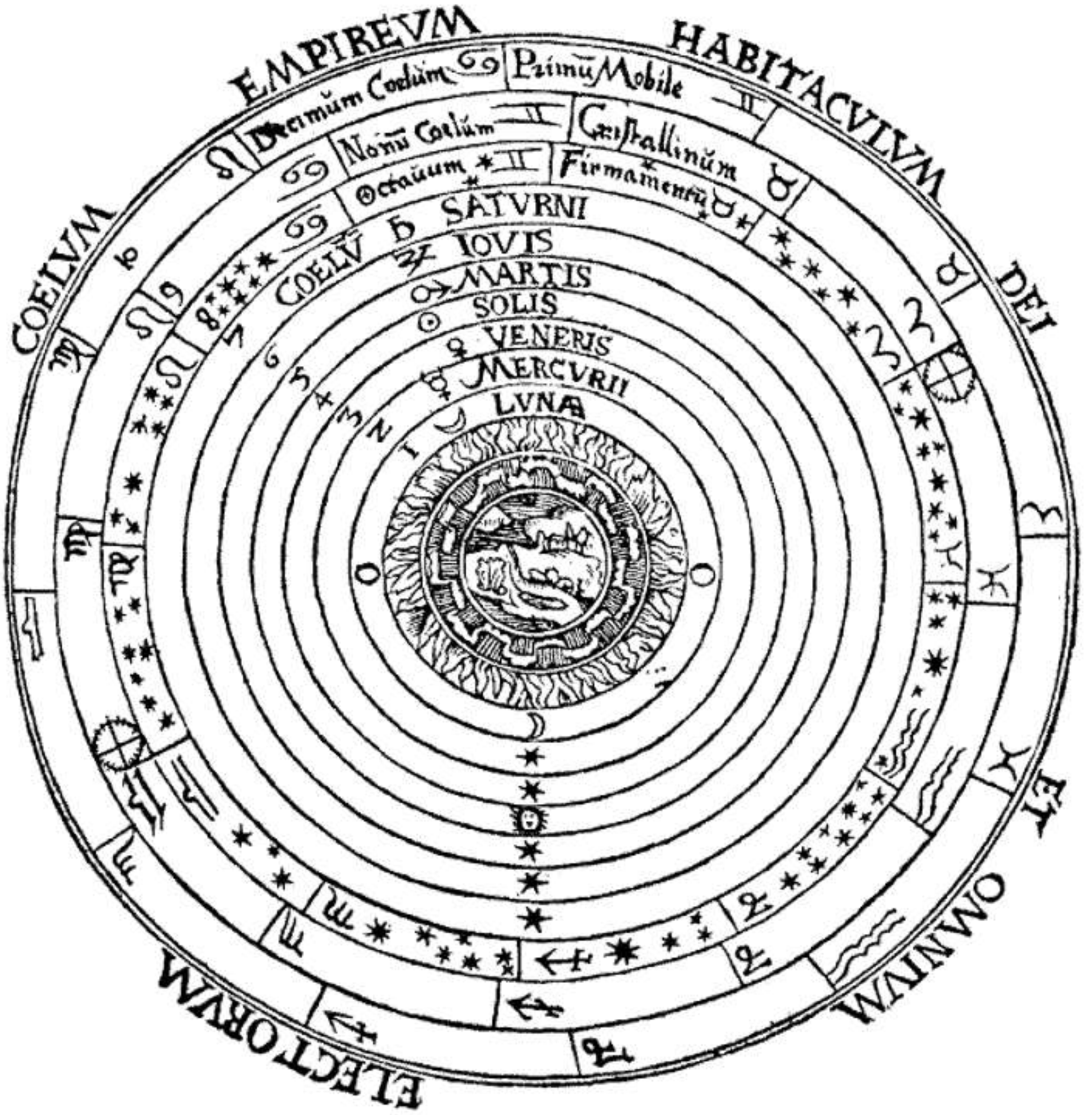
În concordanță cu experiența umană obișnuită, principiile lui Aristotel nu se bazau pe experimente cantitative controlate, astfel încât, în timp ce explică multe caracteristici generale ale naturii, ele nu descriu universul nostru în mod precis, cantitativ așteptat acum de știință. Contemporanii lui Aristotel, precum Aristarh, au respins aceste principii în favoarea heliocentrismului, însă ideile lor nu au fost acceptate pe scară largă. Principiile lui Aristotel au fost greu de respins doar prin observarea obișnuită de zi cu zi, dar dezvoltarea ulterioară a

metodei științifice a provocat punctele de vedere prin experimente și măsurători atente, folosind o tehnologie din ce în ce mai avansată, cum ar fi telescopul și pompa de vid.

”În revendicarea noutății pentru doctrinele lor, acei filozofi naturali care au dezvoltat "noua știință" a secolului al șaptesprezecelea au comparat frecvent fizica "aristoteliană" cu a lor. Fizica de tipul anterior, așa cum au susținut, a subliniat calitativul în detrimentul matematicii cantitative, neglijate, și a rolului său adecvat în fizică (în special în analiza mișcării locale), și s-a bazat pe astfel de principii explicative suspecte ca fiind cauzele finale și " oculte ". Cu toate acestea, în fizica sa, Aristotel caracterizează fizica sau "știința naturii" ca fiind mărimea (*megethê*), mișcarea (sau "procesul" sau "schimbarea treptată" - *kinêsis*), și timpul (*chronon*) (*Fizica* III.4 202b30–1). Într-adevăr, *Fizica* este în mare parte preocupată de o analiză a mișcării, în special a mișcării locale, și de celelalte concepte pe care Aristotel le consideră necesare pentru această analiză.”
- *Michael J. White, "Aristotel pe Infinit, Spațiu și Timp", în Blackwell Companion to Aristotle*

Concepte

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum.



(O reprezentare a universului în 1524, puternic influențată de ideile lui Aristotel. Sferele terestre de apă și pământ (prezentate sub formă de continente și oceane) se află în centrul universului, înconjurate imediat de sferele de aer și apoi focul , unde s-au crezut că se găsesc meteoriții și cometele. Sferele celeste din jur, de la interior la exterior, sunt cele ale Lunii, Mercur, Venus, Soare, Marte, Jupiter și Saturn, fiecare indicat printr-un simbol al planetei. *A opta sferă este firmamentul stelelor fixe, care includ constelațiile vizibile. Precesiunea echinocțiilor a provocat un decalaj între divizările vizuale și noționale ale zodiacului, astfel încât astronomii creștini medievali au creat a nouă sferă, Crystallinum care deține o versiune neschimbată a zodiacului. A zecea sferă este cea a mișcării divine propusă de Aristotel (deși fiecare sferă ar avea un motor nemișcat). Deasupra tuturor, teologia creștină a plasat* "Imperiul lui Dumnezeu"*. Ceea ce nu arată această diagramă este modul în care Aristotel a explicat curbele complicate pe care planetele le fac pe cer. Pentru a păstra principiul mișcării circulare perfecte, el a propus ca fiecare planetă să fie mutată de mai multe sfere imbricate, cu polii fiecăruia conectați la următoarea, dar cu axe de rotație decalate una de alta. Deși Aristotel a lăsat numărul de sfere deschise determinării empirice, el a propus*

adăugarea la modelele sferelor multiple ale unor astronomi anteriori, rezultând un total de 44 sau 55 de sfere celeste.)

Elemente și sfere

Aristotel a împărțit universul său în "sfere terestre", care erau "coruptibile" și în care oamenii trăiau și se mișcau, dar în același timp neschimbând sferele celeste.

Aristotel credea că patru elemente clasice alcătuiesc totul în sferele terestre: pământ, aer, foc și apă. De asemenea, el a susținut că cerurile sunt făcute dintr-un al cincelea element special fără greutate și incoruptibil, numit "eter". Eterul se mai numește și "chintesență", adică, literal, "a cincea ființă".

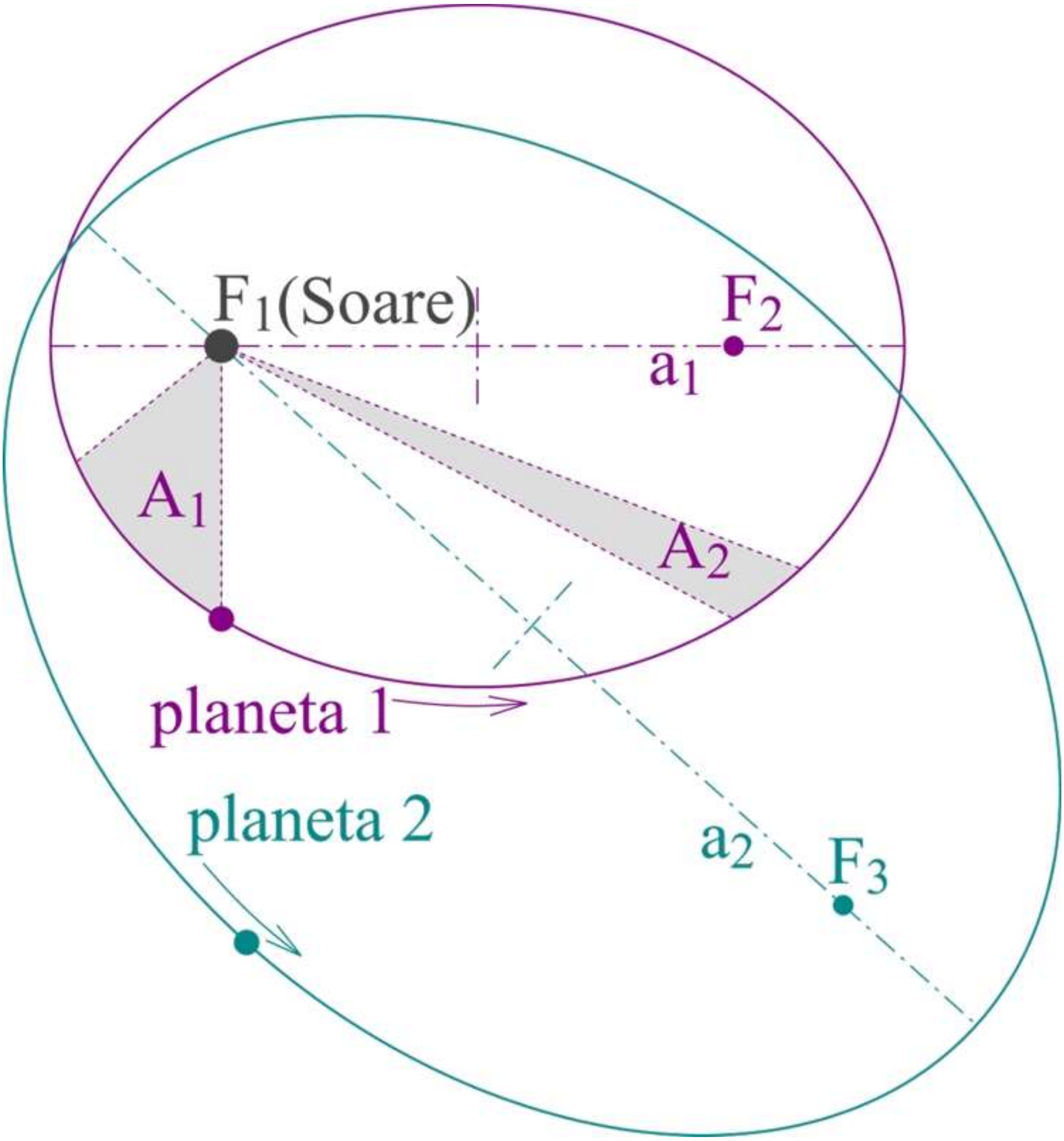
Aristotel a considerat că substanțele grele precum fierul și alte metale constau în principal din elementul pământ, cu o cantitate mai mică de celelalte trei elemente terestre. Alte obiecte mai ușoare, credea el, au mai puțin pământ, în raport cu celelalte trei elemente din compoziția lor.

Cele patru elemente clasice nu au fost inventate de Aristotel; acestea au fost originare de la Empedocles. În timpul Revoluției Științifice, teoria antică a elementelor clasice s-a dovedit a fi incorectă și a fost înlocuită de conceptul testat empiric al elementelor chimice.

……………………………………

1.3 Legile lui Kepler

În astronomie, **legile lui Kepler** despre mișcarea planetară sunt trei legi științifice care descriu mișcarea planetelor în jurul Soarelui.



(Ilustrația celor trei legi ale lui Kepler cu două orbite planetare: (1) Orbitele sunt elipse, cu puncte focale F_1 și F_2 pentru prima planetă și F_1 și F_3 pentru a doua planetă. Soarele este plasat în punctul focal F_1. Cele două sectoare umbrite A_1 și A_2 au aceeași suprafață și timpul pentru ca planeta 1 să acopere segmentul A_1 este egal cu timpul de acoperire a segmentului A_2. (3) Timpii orbitali totali pentru planeta 1 și planeta 2 au un raport $(a_1/a_2)^{3/2}$. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kepler_laws_diagram.svg)

1. Orbita unei planete este o elipsă cu Soarele îm unul dintre cele două focare.
2. Un segment de linie care unește o planetă și Soarele mătură suprafețe egale în intervale egale de timp.
3. Pătratul perioadei orbitale a unei planete este proporțional cu cubul axei semi-majore a orbitei sale.

……………………………………

2. Gravitația newtoniană

În anumite programe de cercetare, precum teoria mecanicistă a universului conform căreia universul este un ceas uriaș (și un sistem de vârtejuri) cu împingerea ca singura cauză a mișcării, metafizica particulară carteziană a funcționat ca un principiu euristic puternic: a descurajat teorii științifice, precum versiunea "esențialistă" a acțiunii la distanță a lui Newton, care erau incompatibile cu ea (euristica negativă). Și a încurajat ipotezele auxiliare care ar fi putut să o salveze de contradicțiile aparente, cum ar fi elipsele kepleriene (*euristica pozitivă*).”

Prima ediție a *Principia* lui Newton conține doar două comentarii suplimentare despre metodologie: notificarea că scopul lucrării este de a explica "cum să determinăm mișcările adevărate din cauzele lor, efectele și diferențele aparente și, dimpotrivă, cum să determinăm din ipoteze dacă sunt adevărate sau aparente, cauzele și efectele lor"; și, în Scholiul de la sfârșitul Cărții 1, Secțiunea 11, Newton afirmă că abordarea sa distinctivă face posibilă argumentarea mai sigură în filosofia naturală.

În a doua ediție (1713) Newton introduce secțiuni separate pentru fenomene și reguli implicate în determinarea gravitației universale, iar la sfârșitul Scholiului General din cea de-a treia ediție, 1726, include cea mai faimoasă declarație metodologică:

”Încă nu am putut deduce din fenomene motivul pentru aceste proprietăți ale gravitației și nu născocesc ipoteze. Căci ceea ce nu este dedus din fenomene trebuie să fie numit o ipoteză; și ipotezele, metafizice sau fizice, sau bazate pe calități oculte sau mecanice, nu au ce căuta în filosofia experimentală. În această filosofie experimentală, propozițiile sunt deduse din fenomene și sunt făcute generale prin inducție. Impenetrabilitatea, mobilitatea și impulsul corpurilor, legile mișcării și legea gravitației au fost găsite prin această metodă. Și este de ajuns gravitația să existe într-adevăr și să acționeze în conformitate cu legile pe care le-am expus și ar fi suficiente pentru toate mișcările corpurilor cerești și a mării noastre.”

adăugând ulterior, în alt loc, "cu excepția cazului în care presupunerile sau întrebările au fost propuse a fi examinate prin experimente".

Newton avertizează în *Principia* că folosește teoria matematică într-un mod nou, cu forțele tratate în mod abstract, independent de mecanism, doar din punct de vedere matematic. Clarke și Berkeley în secolul 18 afirmă că aceste pasaje exprimă un agnosticism cauzal strict. Newton scrie că, folosind termeni precum "atracție", nu intenționează să definească o "specie sau mod de acțiune sau o cauză sau motiv fizic."

Referitor la pretenția lui Newton de a "deduce" legea gravitației universale din fenomenele mișcării orbitale, Lakatos a susținut că această afirmație este cel puțin înșelătoare și, în cel mai rău caz, un subterfugiu. Doar un construct ipotetico-deductiv al demonstrației sale a gravitației universale are sens.

Conform lui Andrew Janiak, citirea antimetafizică a tratamentului matematic al forței lui Newton este una rezonabilă. Interpretarea antimetafizică poate fi susținută prin celebra declarație metodologică din *Principia*, "*hypotheses non fingo*", ”nu născocesc ipoteze.” Așa cum tratamentul matematic al forței poate fi interpretat ca exprimând agnosticismul cauzal strict, concentrându-se exclusiv pe descrieri empirice ale mișcărilor din sistemul solar,

metodologia lui Newton poate fi interpretată ca exprimând un agnosticism metafizic mai general.”

……………………….

2.2. Legea lui Newton a gravitației universale

Legea lui Newton a gravitației universale afirmă că o particulă atrage orice altă particulă din univers cu o forță care este direct proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre centrele lor. (Masele mari, sferice simetrice atrag și sunt atrase ca și când toată masa lor ar fi concentrată în centrele lor - teorema Shell). Aceasta este o lege fizică generală derivată din observațiile empirice din ceea ce Isaac Newton numea raționamentul inductiv. Este o parte a mecanicii clasice și a fost formulată în lucrarea lui Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* ("*Principia*"), publicată pentru prima dată pe 5 iulie 1687.

Legea lui Newton a fost înlocuită de teoria relativității generale a lui Albert Einstein, dar continuă să fie folosită ca o aproximare excelentă a efectelor gravitației în majoritatea aplicațiilor. Relativitatea este necesară numai atunci când este nevoie de precizie extremă sau când se lucrează cu câmpuri gravitaționale foarte puternice, cum ar fi cele găsite în apropierea obiectelor extrem de masive și dense sau la distanțe foarte apropiate (cum ar fi orbita lui Mercur în jurul Soarelui).

În limbajul de astăzi, legea afirmă: Fiecare masă punctuală atrage fiecare altă masă punctuală printr-o forță direcționată pe linia care intersectează ambele puncte. Forța este proporțională cu produsul celor două mase și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele. Primul test de laborator al teoriei lui Newton a gravitație dintre mase a fost experimentul Cavendish condus de cercetătorul britanic Henry Cavendish în 1798. Acesta a avut loc la 111 ani după publicarea cărții *Principia* a lui Newton și la aproximativ 71 de ani de la moartea sa.

Nimeni nu ştie sigur dacă amintirea lui Newton despre măr a fost corectă, dar perspectiva lui aceasta este. Filosofii au crezut încă de la greci că mişcarea “naturală” a stelelor, planetelor, Soarelui şi Lunei este circulară. Kepler a stabilit că orbitele sunt de fapt eliptice, dar a crezut că mişcările planetelor este dictată de către o “forţă divină” emanată de la Soare, iar Newton şi-a dat seama că aceeaşi forţă care face ca o piatră aruncată să cadă înapoi pe Pământ, ţine şi planetele pe orbita Soarelui, şi Luna pe orbita Pământului.

Newton nu a fost singur cu contribuții semnificative la înţelegerea gravitaţiei. Înainte de Newton, Galileo Galilei a corectat o concepţie greşită comună, de la Aristotel, conform căreia obiectele cu diferite mase cad cu viteze diferite. Pentru Aristotel, pur şi simplu era logic ca obiecte de diferite mase să cadă cu viteze diferite, şi logica a fost de ajuns pentru el. Galileo a încercat să dea drumul să cadă la obiecte de diferite mase în acelaşi timp. În afară de diferenţele datorate fricţiunii din aer, Galileo a observat că toate masele cad la fel. Folosind ecuaţia lui Newton, $F = ma$, este clar pentru noi de ce:

$$\mathbf{F = Gm_1m_2/r^2 = m_1a_1}$$

Ecuaţia de mai sus spune că masa m_1 va accelera la acceleraţia a_1 sub forţa de gravitaţie:

$$a_1 = Gm_2/r^2$$

Nicăieri în ecuaţia de mai sus nu apare masa corpului care cade. Atunci când e vorba de obiecte aproape de suprafaţa unei planete, distanţa *r* este atât de mică încât acceleraţia gravitaţională pare a fi perfect constantă. Acceleraţia gravitaţională pe Pământ se notează de obicei cu *g*, iar valoarea sa este de aproximativ 9,8 m/s2. Galileo nu a avut ecuaţiile lui Newton, astfel încât intuiţia sa privind proporţionalitatea gravitaţiei cu masa a fost de nepreţuit, afectând chiar formularea lui Newton despre cum funcţionează gravitaţia.

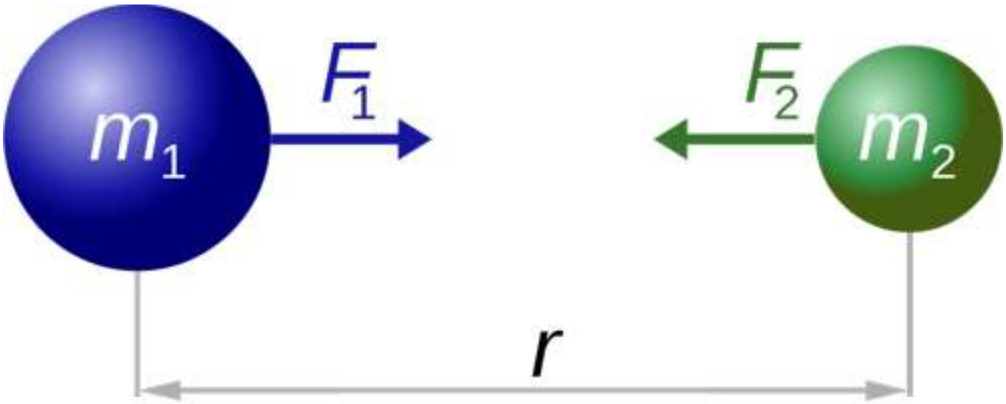
Cu toate acestea, pentru un corp mare, variaţiile *r* pot crea variaţii semnificative ale foţei.

Un studiu recent al lui Ofer Gal despre istoria timpurie a legii pătratelor inverse din perioada "ultimilor ani 1670", consideră că "proporția inversă între gravitație și pătratul distanței era o idee destul de comună și a fost avansată de mai multe persoane din diferite motive".

Același autor acordă credit lui Hooke ca având o contribuție semnificativă și chiar seminală, dar tratează pretenția lui Hooke privind prioritatea sa referitor la pătratul invers ca fiind neinteresantă, întrucât mai multe persoane, în afară de Newton și Hooke, au sugerat cel puțin acest lucru, și evidențiază, în schimb, ideea "combinării mișcările celeste" și convertirea gândirii lui Newton de la forța "centrifugală" spre cea "centripetală" drept contribuții semnificative ale lui Hooke.

Newton însuși a dat credit în *Principia* la două persoane: Bullialdus (a scris, dar fără a dovedi, că există o forță dinspre pământ spre soare), și Borelli (a scria că toate planetele sunt atrase spre soare). Whiteside a scris că influența principală a fost cea a lui Borelli, deoarece Newton avea o copie a cărții sale.

Forma modernă



$$F_1 = F_2 = G\frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

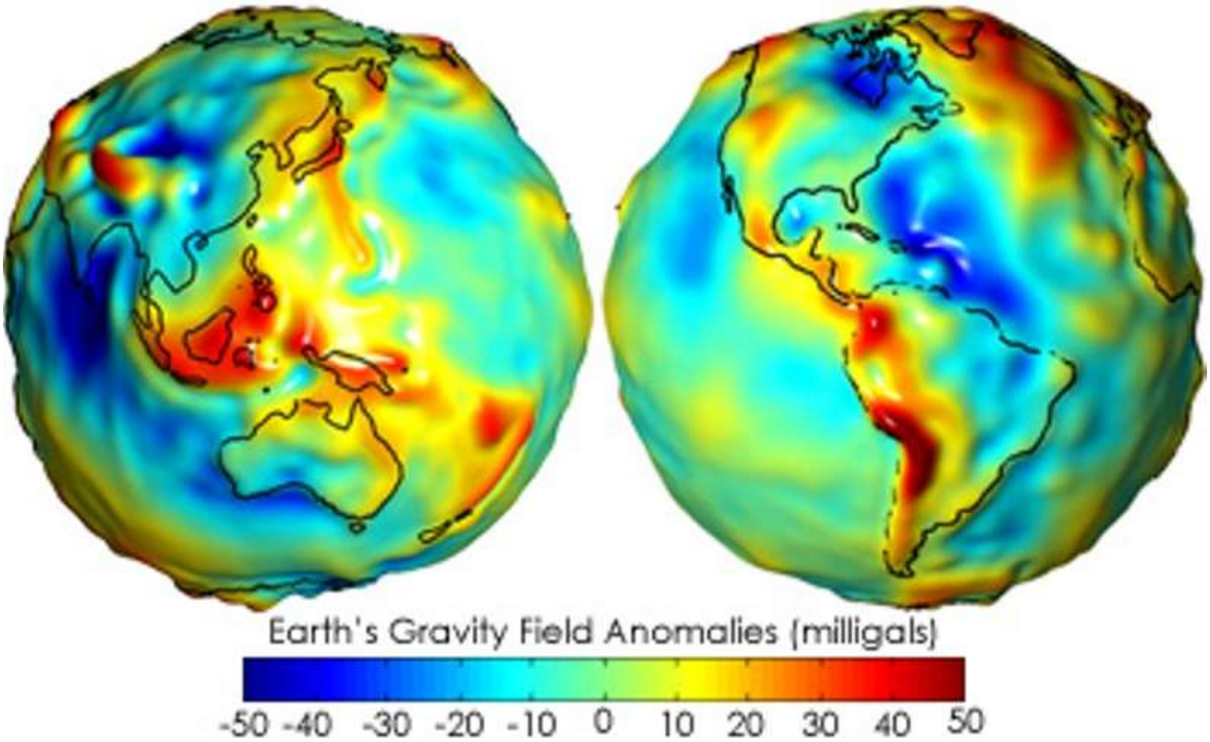
Conform lui Newton, “*Fiecare obiect din Univers atrage orice alt obiect cu o forţă îndreptată de-a lungul liniei centrelor celor două obiecte, proporţională cu produsul maselor lor şi invers proporţională cu pătratul distanţei dintre cele două obiecte.*“

Newtona a publicat legea gravitaţiei universale în *Principia Mathematica*, astfel:

$$\mathbf{F} = \mathbf{G} m_1 m_2 / r^2$$

……………………….

2.5 Gravitaţia Pământului



(Gravitaţia Pământului măsurată prin misiunea GRACE NASA, care arată abateri de la gravitaţia teoretică a unui Pământ neted idealizat, așa-numitul elipsoid pământesc. Roşul arată zonele în care gravitația este mai puternică decât valoarea standard, uniformă, iar albastrul arată zonele în care gravitația este mai slabă.)

Fiecare corp planetar (inclusiv Pământul) este înconjurat de propriul câmp gravitațional, care exercită o forță de atracție asupra tuturor obiectelor. Presupunând o planetă sferică simetrică, puterea acestui câmp în orice punct dat de pe suprafață este proporțională cu masa corpului planetar și invers proporțională cu pătratul distanței de la centrul planetei.

Puterea câmpului gravitațional este numeric egală cu accelerarea obiectelor aflate sub influența sa. Rata de accelerare a obiectelor care se află in apropiere de suprafața Pământului variază foarte puțin în funcție de altitudine, latitudine, precum și de alți factori. Pentru greutăţi și măsuri, o valoare standard a gravitaţiei este definită de Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți, în cadrul Sistemului Internațional de Unități (SI).

Această valoare, notată g, este g = 9,80665 m/s^2.

Valoarea standard de 9,80665 m/s^2 este cea adoptată inițial de către Comitetul Internațional de Măsuri și Greutăți în 1901 pentru 45° latitudine, chiar dacă aceasta a fost dovedită a fi mai mare cu aproximativ cinci unităţi din zece mii. Această valoare a persistat în meteorologie și

în unele măsurători atmosferice standard, ca valoarea la 45° latitudine, chiar dacă aceasta se aplică mai exact la latitudinea de 45°32'33".

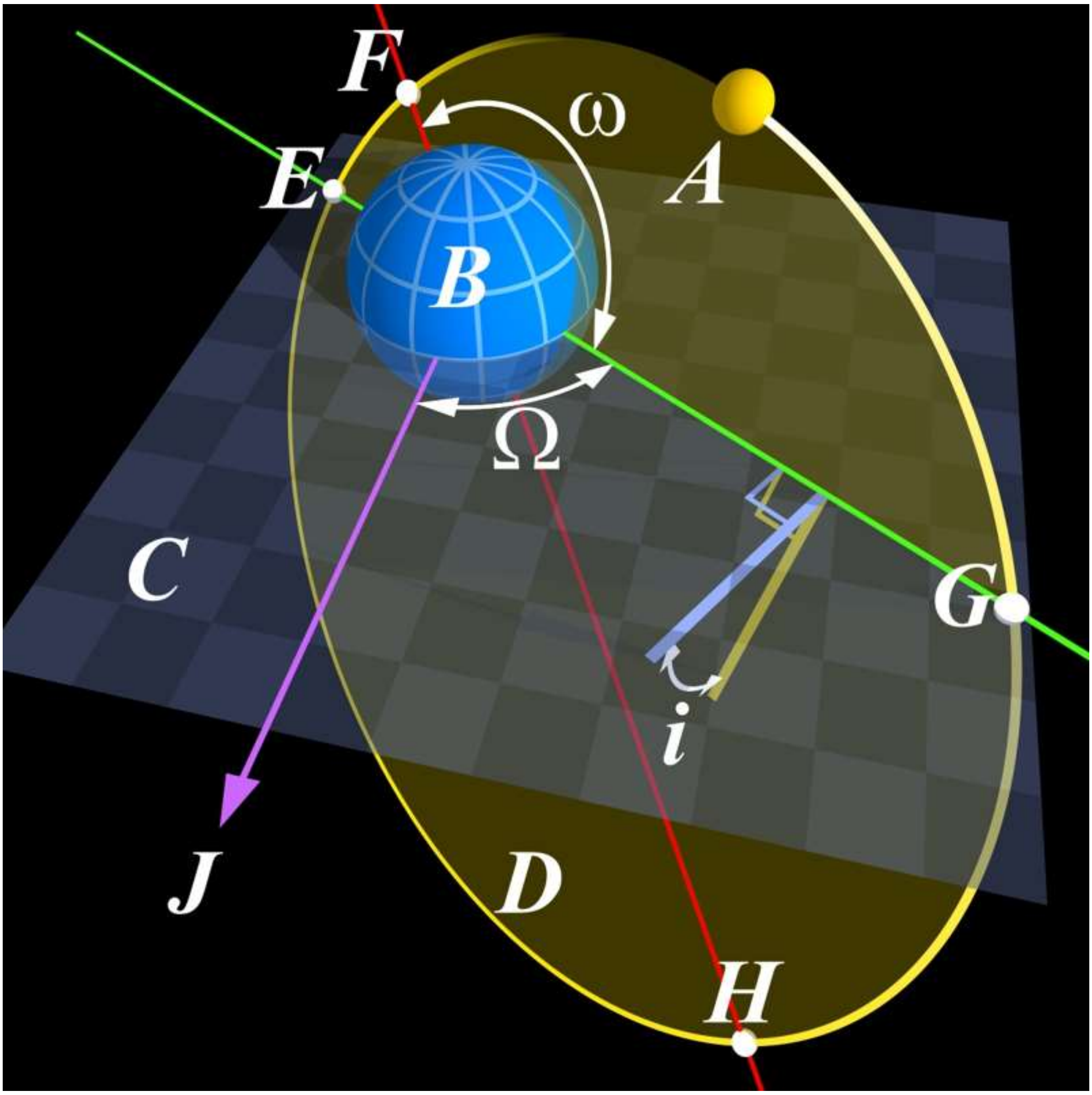
Presupunând valoarea standardizată pentru g și ignorarea rezistenței aerului, acest lucru înseamnă că un obiect care se găseşte în mod liber în apropierea suprafeței Pământului crește viteza sa cu 9,80665 m/s la fiecare secundă de la timpul iniţial. Astfel, un obiect pornind din repaus va atinge o viteză de 9,80665 m/s după o secundă, aproximativ 19,62 m/s după două secunde, și așa mai departe, adăugând 9,80665 m/s pentru fiecare viteză rezultată. De asemenea, din nou ignorând rezistența aerului, toate obiectele, când cad de la aceeași înălțime, vor atinge pământul în același timp. Este relevant de menționat că gravitația Pământului nu are exact aceeași valoare în toate regiunile. Există mici variații în diferite părți ale globului, datorită caracteristicilor, latitudine de suprafață, cum ar fi munții și crestele, şi densităţii poate neobișnuit de mare sau mică de sub-suprafață.

Potrivit Legii a treia a lui Newton, asupra Pământului însuși se exercită o forță egală în mărime și în direcția opusă celei pe care o exercită pe un obiect în cădere. Acest lucru înseamnă că Pământul accelerează, de asemenea, spre obiect până când se ciocnesc. Deoarece masa Pământului este imensă, însă, accelerația imprimată Pământului prin această forță opusă este neglijabilă în comparație cu cea a obiectului. Dacă obiectul nu sare înapoi după ce s-a ciocnit cu Pământul, fiecare dintre ele exercită atunci o forță de contact de respingere pe de altă parte, care echilibrează efectiv forța de atracție a gravitației și previne accelerarea în continuare.

Forța de gravitație pe Pământ este rezultanta (suma vectorială) a două forțe: (a) atracția gravitațională, în conformitate cu legea universală a lui Newton a gravitației, și (b) forța centrifugă, care rezultă din alegerea unui obiect de pe Pământ, rotind sistemul de referință. La ecuator, forța de gravitație este cea mai slabă din cauza forței centrifuge cauzate de rotația Pământului. Forța de gravitație variază în funcție de latitudine și crește de la circa 9,780 m/s^2 la ecuator la aproximativ 9,832 m/s^2 la poli.

…………………………..

2.11 Energia sateliților



(Parametrii unghiulari ai orbitei eliptice. Imagine prezentând conceptele de înclinare, longitudinea nodului ascendent și argumentul periapsisului pentru un obiect „minor” într-o orbită eliptică în jurul unui obiect mai mare. Legenda: A – Corpul mic orbitând; B – Corpul mare orbitat de A; C – planul de referință, de ex. ecliptica; D – Planul orbitei lui A; E – Nod descendent; F – Periapsis: G – Nod ascendent; H – Apoapis; I – Înclinarea; J – Direcția de referință; pentru orbite în sau aproape de ecliptică, de obicei punctul vernal; Ω – Longitudinea nodului ascendent; ω – Argumentul periapsisului. Linia roșie este linia apsidelor; trecând prin periapsis (F) și apoapis (H); această linie coincide cu axa majoră în forma eliptică a orbitei. Linia verde este linia de noduri; trecând prin nodul ascendent (G) și descendent (E); acesta este cazul în care planul de referință (C) intersectează planul orbital (D). https://en.wikipedia.org/wiki/File:Angular_Parameters_of_Elliptical_Orbit.png)

Energia orbitală specifică

În cazul problemei gravitaționale a două corpuri, **energia orbitală specifică** ε (sau **energia *vis-viva***) a două corpuri orbitale este suma constantă a energiei lor potențiale reciproce (ε_p) și a energiei lor cinetice totale (ε_k), împărțită la masa redusă. Conform ecuației de conservare a energiei orbitale (denumită și *ecuația vis-viva*), aceasta nu variază în funcție de timp:

$$\varepsilon = \varepsilon_k + \varepsilon_p = v^2/r - \mu/r = -\mu^2(1 - e^2)/2h^2 = -\mu/2a$$

unde: v este viteza orbitală relativă; r este distanța orbitală dintre corpuri; $\mu = G(m_1 + m_2)$ este suma parametrilor gravitaționali standard ai corpurilor; h este momentul unghiular relativ specific în sensul momentului unghiular relativ împărțit la masa redusă; e este excentricitatea orbitală; a este axa semi-majoră.

Se exprimă în J/kg = $m^2 \cdot s^{-2}$ sau MJ/kg = $km^2 \cdot s^{-2}$. Pentru o orbită eliptică, energia orbitală specifică este valoarea negativă a energiei suplimentare necesare pentru a accelera o masă de un kilogram pentru a scăpa de viteza (orbită parabolică). Pentru o orbită hiperbolică, este egală cu energia excesivă comparativ cu cea a unei orbite parabolice. În acest caz, energia orbitală specifică este menționată și ca energie caracteristică.

…………………..

2.12 Sateliți artificiali



(Soyuz TMA-7)

În contextul zborului spațial, un satelit este un obiect artificial care a fost intenționat plasat pe orbită. Astfel de obiecte sunt denumite uneori sateliți artificiali pentru a le distinge de sateliții naturali, cum ar fi Luna Pământului.

În 1957, Uniunea Sovietică a lansat primul satelit artificial din lume, Sputnik 1. De atunci, au fost lansați aproximativ 6.600 de sateliți din mai mult de 40 de țări. Conform estimărilor din 2013, 3600 au rămas pe orbită. Dintre acestea, circa 1000 au fost operaționali; în timp ce restul și-au trăit viețile utile și au devenit resturi spațiale. Aproximativ 500 de sateliți operaționali se află pe orbita inferioară a Pământului, 50 pe orbita medie a Pământului (la 20.000 km), iar restul pe orbită geostaționară (la 36.000 km). Câțiva sateliți mari au fost lansați din mai multe subsisteme și asamblați pe orbită. Peste o duzină de sonde spațiale au fost plasate în orbită în jurul altor corpuri și au devenit sateliți artificiali la Lună, Mercur, Venus, Marte, Jupiter, Saturn, câțiva asteroizi, o cometă și Soarele.

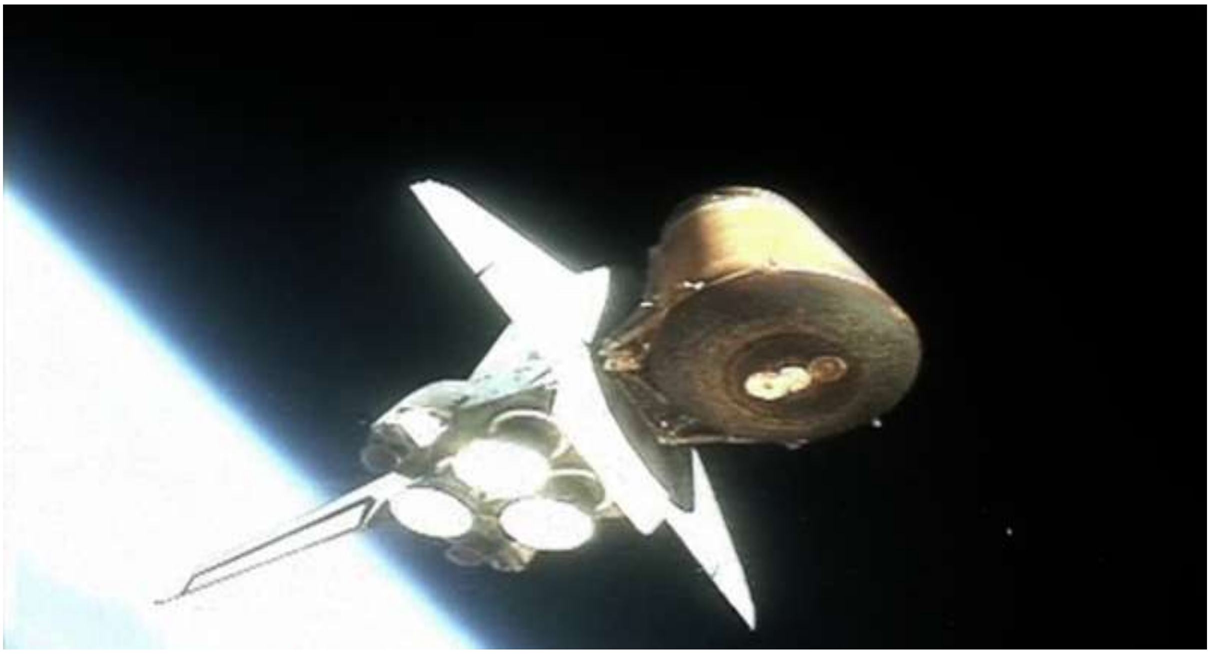
(Flota NASA de sateliți pentru monitorizarea pământului, martie 2015: https://www.youtube.com/watch?v=_S9yI6wqsAM)

Sateliți sunt utilizați în mai multe scopuri. Tipurile comune includ sateliți de observare a teritoriului în scopuri militare și civile, sateliți de comunicații, sateliți de navigație, sateliți meteorologici și telescoape spațiale. Stațiile spațiale și navele spațiale umane pe orbită sunt, de asemenea, sateliți. Orbitele sateliților variază foarte mult, în funcție de scopul satelitului, și sunt clasificate în mai multe moduri. Clasele bine cunoscute (care se suprapun) includ orbita pământului, orbita polară și orbita geostaționară.

Un vehicul de lansare este o rachetă care plasează un satelit pe orbită. De obicei, se ridică de pe o platformă de lansare pe uscat. Unele sunt lansate de pe mare dintr-un submarin sau o platformă maritimă mobilă, sau la bordul unui avion.

Sateliții sunt, de obicei, sisteme semi-independente controlate de calculator. Subsistemele sateliților participa la multe sarcini, cum ar fi generarea de energie electrica, controlul termic, telemetria, controlul atitudinii si controlul orbitei.

Zborul orbital



(Rachete Space Shuttle Discovery la viteza orbitală, văzute imediat după separarea de propulsor.)

Un *zbor spațial orbital* (sau *zbor orbital*) este un zbor în care o navă spațială este plasată pe o traiectorie unde ar putea rămâne în spațiu pentru cel puțin o orbită. Pentru a face acest lucru în jurul Pământului, acesta trebuie să fie pe o traiectorie liberă, care are o altitudine la perigeu (altitudinea cea mai apropiată) de peste 100 km; aceasta este, cel puțin ca o convenție, limita spațiului. A rămâne în orbită la această altitudine necesită o viteză orbitală de ~ 7,8 km/s. Viteza orbitală este mai lentă pentru orbite mai mari, dar atingerea acestora necesită un delta-v (impuls) mai mare.

Datorită frânării atmosferice, cea mai mică altitudine la care un obiect dintr-o orbită circulară poate realiza cel puțin o revoluție completă fără propulsie este de aproximativ 150 km.

Expresia "zbor spațial orbital" este folosită în cea mai mare parte pentru a se distinge de zborurile sub-orbitale ale spațiului, care sunt zboruri în care apogeul unei nave spațiale ajunge în spațiu, dar perigeul este prea mic.

………………………….

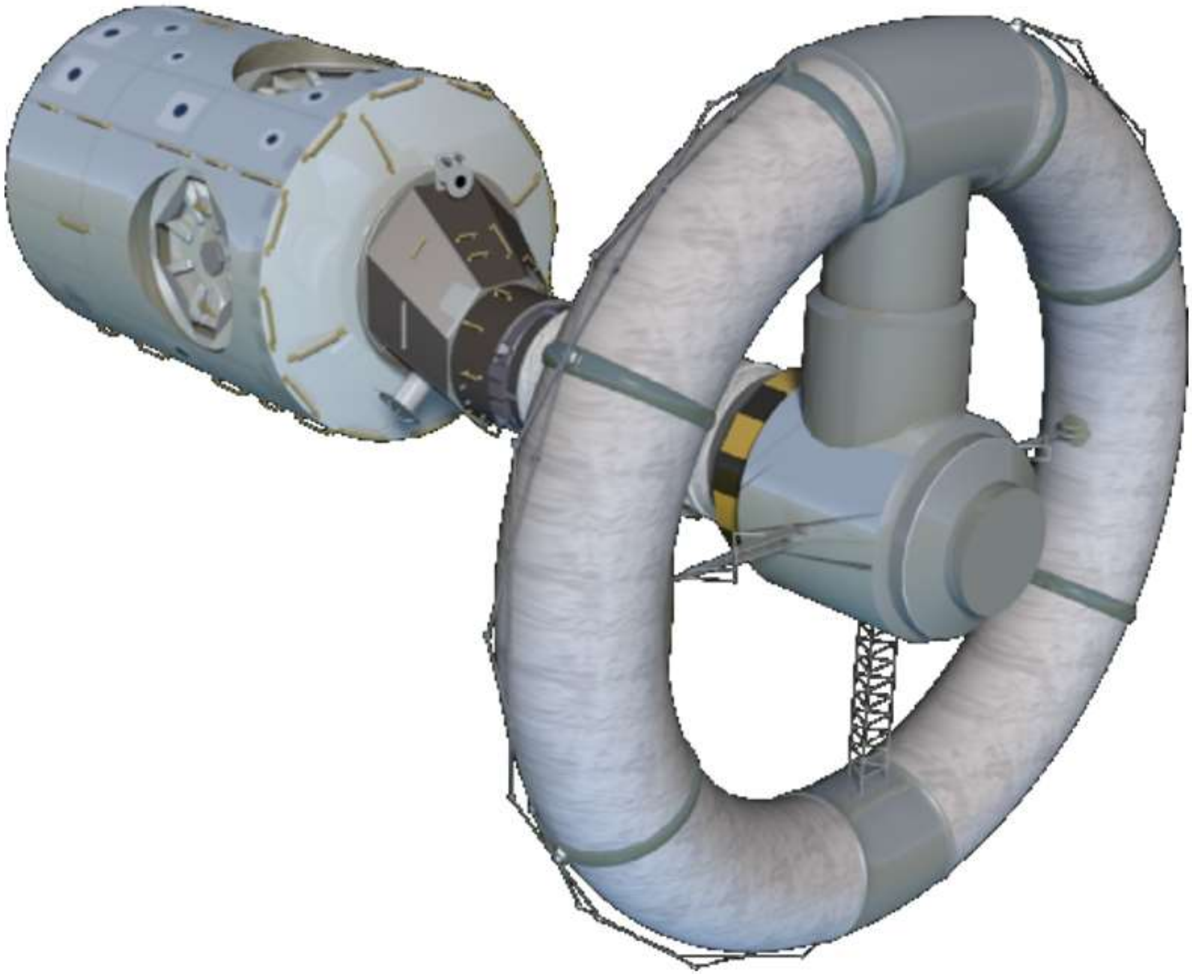
2.13 Gravitația artificială



(Operațiuni de fixare pentru Gemini 11 Agena)

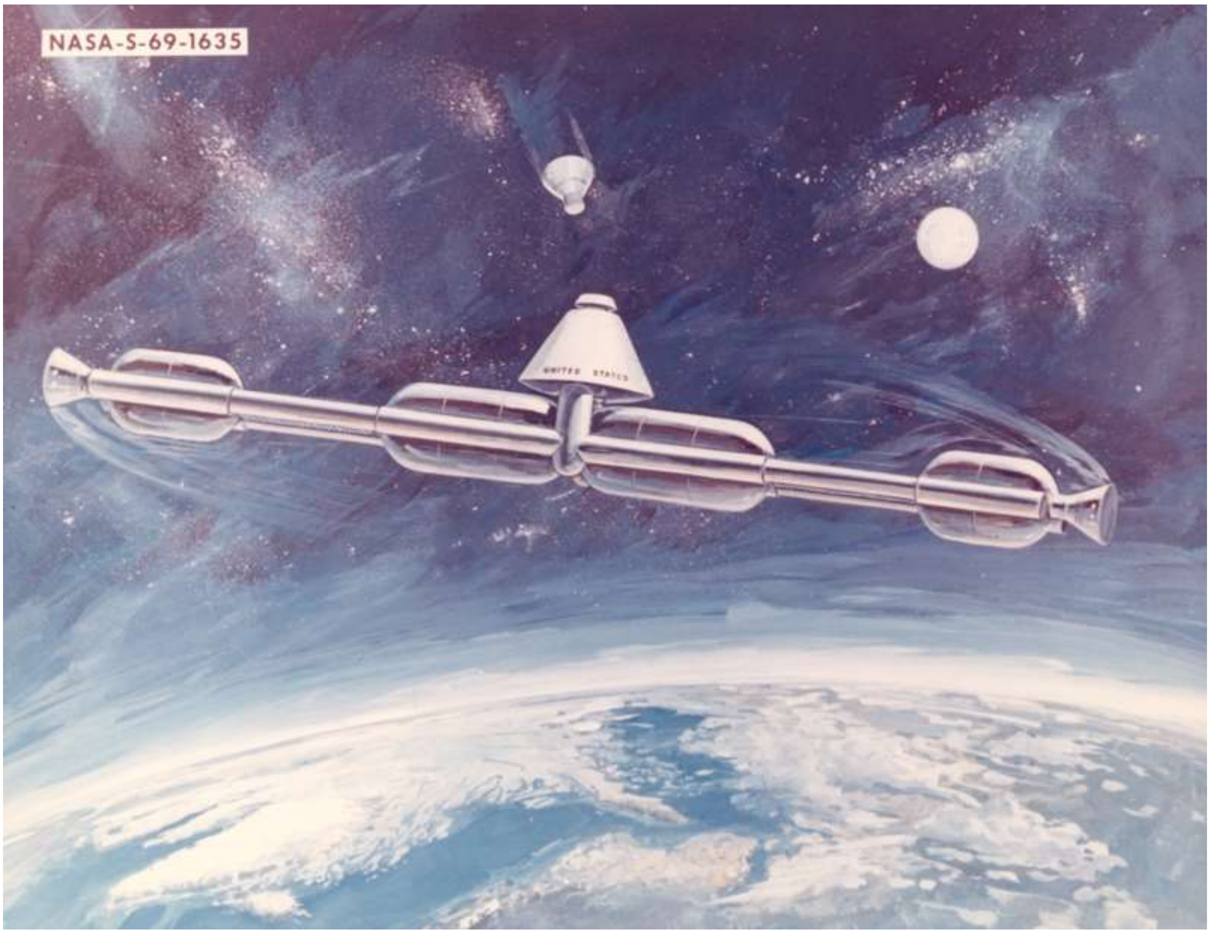
Gravitația artificială (uneori numită pseudogravitate, sau gravitația de rotație) este crearea unei forțe inerțiale care imită efectele unei forțe gravitaționale, de obicei prin rotație. Ea reprezintă, prin urmare, apariția unei forțe centrifuge într-un cadru de referință rotativ (transmiterea accelerației centripetale prin forța normală în cadrul de referință non-rotațional), spre deosebire de forța experimentată în accelerația liniară, care prin principiul echivalenței nu poate fi diferențiată de gravitate. Într-un sens mai general, „gravitația artificială” se poate referi, de asemenea, la efectul accelerației liniare, de ex. cu ajutorul unui motor cu rachete.

Gravitația rotațională simulată a fost utilizată în simulări pentru a ajuta astronauții să se antreneze în condiții extreme. Ea a fost propusă ca o soluție în deplasarea spațială cu echipaj uman la efectele negative asupra sănătății cauzate de lipsa de greutate prelungită. Dar nu există aplicații practice actuale în spațiul cosmic a gravitației artificiale pentru oameni, din cauza preocupărilor legate de mărimea și costul unei nave spațiale necesare pentru a produce o accelerație centripetă utilă comparabilă cu intensitatea câmpului gravitațional de pe Pământ (g).



(Proiect Nautilus-X International pentru stație spațială)

Centrifugal

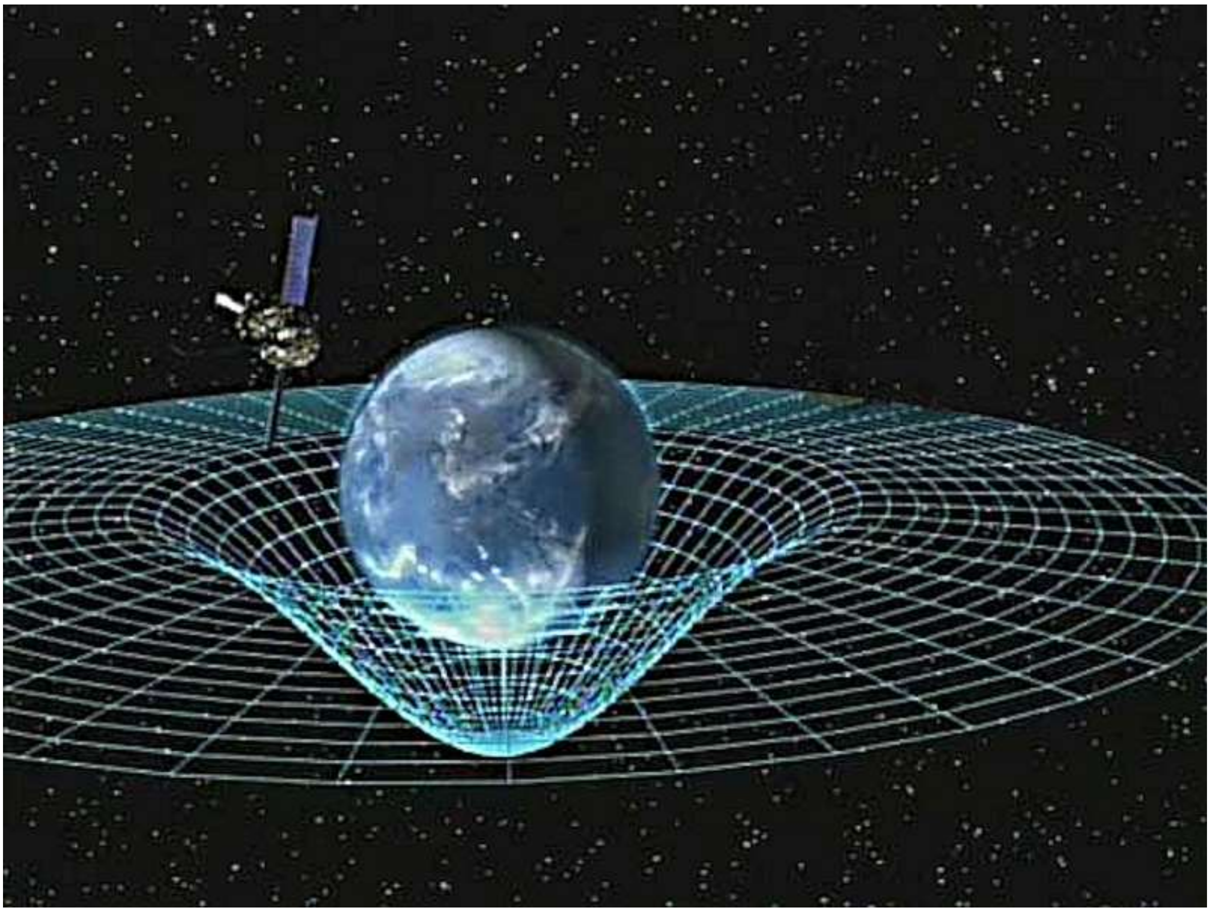


(Stație spațială cu gravitație artificială, concepția NASA din 1969. Acest design este greșit deoarece astronauții ar fi oscilat între gravitație și imponderabilitate.)

Gravitația artificială poate fi creată folosind o forță centripetă. O forță centripetă direcționată către centrul rotației este necesară pentru ca orice obiect să se miște pe o cale circulară. În contextul unei stații spațiale rotative, este forța normală furnizată de corpul navei spațiale care acționează ca forță centripetă. Astfel, forța „gravitațională” simțită de un obiect este forța centrifugă percepută în cadrul rotativ de referință ca fiind îndreptată „în jos” spre corpul corpului. În conformitate cu legea a treia a lui Newton, valoarea lui *g* (accelerația percepută „în jos”) este egală în magnitudine și opusă în direcție accelerației centripetale.

…………………………………….

3. Relativitatea generală



(Analogia bidimensională a distorsiunii spațiu-timp generate de masa unui obiect. Materia schimbă geometria timpului spațial, această geometrie (curbată) fiind interpretată ca gravitație.Liniile albe nu reprezintă curbura spațiului, ci sistemul de coordonate impus spațiutimpului curbat, care ar fi rectiliniu într-un spațiutimp plat.)

Gravitația clasică newtoniană admite o descriere geometrică. Împreună cu relativitatea specială, aceasta permite o descriere euristică a teoriei relativității generale (RG). Mișcarea inerțială din mecanica clasică este legată de geometria spațiului și timpului, practic de-a lungul unor geodezice în care liniile de univers sunt linii drepte în spațiu-timpul relativist. Datorită principiului echivalenței între masele inerțială și gravitațională, când se ia în considerare și gravitația nu este observată o distincție între mișcarea inerțială și cea sub influența gravitației. Aceasta permite definirea unei noi clase, a corpurilor în cădere liberă, definind o geometrie a spațiului și timpului prin o mișcare geodezică care depinde de gradientul potețialului gravitațional. De aici s-a dedus teoria Newton-Cartan, o formula geometrică a gravitației newtoniene în spațiu-timp curbat folosind numai concepte covariante.

Gravitația geometrică newtoniană este un caz limită a mecanicii relativiste speciale. Acolo unde gravitația poate fi neglijată, fizica este lorentzian invariantă ca în relativitatea specială, mai degrabă decât galileian invariantă ca în mecanica clasică.

Simetria lui Lorentz implică structuri suplimentare prin conuri luminoase care definesc o structură cauzală. (Pentru fiecare eveniment A, există un set de evenimente independente de observatori. care pot, în principiu, să influențeze sau să fie influențate de A prin intermediul unor semnale sau interacțiuni care nu trebuie să călătorească mai repede decât lumina și un set de evenimente pentru care o astfel de influență este imposibilă.) Împreună cu liniile de univers pentru corpurile în cădere liberă, conurile de lumină pot fi folosite pentru a reconstrui metrica semi-riemanniană a spațiu-timpului, cel puțin până la un factor scalar pozitiv, rezultând o structură (sau o geometrie) conformă.

Dacă se ia în considerare gravitația, liniile temporale drepte care definesc un cadru inerțial fără gravitație sunt curbate, rezultând o schimbare în geometria spațiu-timp.

Timpul propriu măsurat cu ceasuri într-un câmp gravitațional nu respectă regulile relativității speciale (nu se măsoară prin metrica Minkowski), fiind necesară o geometrie mai generală, curbă, a spațiului, cu o metrică pseudo-riemanniană asociată în mod firesc cu un anumit tip de conexiune, conexiunea Levi-Civita, care satisface principiul echivalenței și face spațiul local minkowskian.

În noiembrie 1915, la Academia de Științe din Prusia, Einstein a prezentat ecuațiile de câmp care includ gravitația, care specifică modul în care geometria spațiului și a timpului este influențată de materie și radiație. Ecuațiile de câmp Einstein sunt:

$$G_{\mu\nu} \equiv R_{\mu\nu} - (1/2)Rg_{\mu\nu} = (8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}$$

unde $G_{\mu\nu}$ este tensorul Einstein, o combinație specifică fără divergențe a tensorului Ricci $R_{\mu\nu}$ și a metricii, iar $T_{\mu\nu}$ este tensorul energie-impuls. Constanta de proporționalitate poate fi fixată drept $k = 8\pi G/c^4$, cu G constanta gravitațională și c viteza luminii. În vid, $R_{\mu\nu} = 0$.

Conform RG, forța de gravitație este o manifestare a geometriei locale spațiu-timp. RG este o teorie metrică a gravitației. La baza ei sunt ecuațiile lui Einstein, care descriu relația dintre geometria unei varietăți patrudimensionale, pseudo-Riemanniene, reprezentând spațiu-timpul și energia-impulsul conținut în acel spațiu-timp. Gravitația corespunde schimbărilor în proprietățile spațiului și timpului, care, la rândul lor, modifică traseele obiectelor. Curbura este cauzată de energia-impulsul materiei. Conform lui John Archibald Wheeler, spațiu-timpul spune materiei cum să se miște iar materia spune spațiu-timpului cum să se curbeze. Pentru câmpuri gravitaționale slabe și viteze mici în raport cu viteza luminii, previziunile teoriei converg spre cele ale legii gravitației universale a lui Newton.

RG prezintă covarianță generală (legile au aceeași formă în toate sistemele de coordonate) și nu conține structuri geometrice invariabile (este independentă de diferitele câmpuri din spațiu-timp). Practic, în plan local este valabil principiul echivalenței, spațiu-timpul este Minkowskian, iar legile fizicii manifestă invarianța locală Lorentz.

În RG, materia și geometria trebuie să satisfacă ecuațiile lui Einstein. O soluție a acestor ecuații este un model de univers cu eventuale legi suplimentare care reglementează materia. Cele mai cunoscute soluții exacte sunt cele care corespund unui anumit tip de gaură neagră (GN) într-un univers altfel gol (soluția Schwarzschild, soluția Reissner-Nordström și metrica Kerr), cele care descriu un univers în expansiune (universurile Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker și de Sitter), universul Gödel (cu posibilitatea de a călători în timp), soluția

Taub-NUT (un model de univers omogen dar anizotrop) și spațiul anti-de Sitter (evidențiat recent în contextul conjecturii Maldacena).

În gravitația newtoniană sursa gravitației este masa, iar în relativitatea specială masa face parte dintr-o cantitate mai generală numită tensor energie-impuls care include atât densitatea energiei cât și a impulsului și stresul (presiunea și forfecarea). În RG, ecuația câmpului de gravitație se referă la acest tensor și la tensorul Ricci care descrie o anumită clasă de efecte de maree.

Există teorii alternative la RG construite pe aceleași premise, cu reguli și/sau constrângeri suplimentare, care conduc la ecuații de câmp diferite (teoria lui Whitehead, teoria Brans-Dicke, teleparalalelismul, gravitația f(R), teoria Einstein-Cartan, etc.).

……………………….

3.16 Aspecte specifice ale testelor relativității generale

Testele de relativitate generală servesc la stabilirea dovezilor observaționale pentru teoria relativității generale. Primele trei teste, propuse de Einstein în 1915, au vizat precesia "anormală" a periheliului lui Mercur, curbarea luminii în câmpurile gravitaționale și deplasarea spre roșu gravitațională. Precesiunea lui Mercur era deja cunoscută; experimentele care arătau o curbare a luminii în conformitate cu predicțiile relativității generale au fost găsite în 1919, măsurătorile de precizie crescând în testele ulterioare, iar măsurarea astrofizică a deplasării spre roșu gravitaționale a fost revendicată a fi măsurată în 1925, deși măsurătorile suficient de sensibile pentru a confirma teoria nu au fost făcute decât în 1954. Un program de teste mai exacte, începând cu anul 1959, a testat diferite predicții ale relativității generale cu un grad suplimentar de precizie în limita câmpului gravitațional slab, limitând sever posibilele devieri față de teorie.

În anii 1970, au început să se facă teste suplimentare, începând cu măsurarea de către Irwin Shapiro a întârzierii relativiste a timpului de deplasare a semnalului radar în apropierea soarelui. Începând din 1974, Hulse, Taylor și alții au studiat comportamentul pulsarilor binari care se confruntă cu câmpuri gravitaționale mult mai puternice decât cele găsite în sistemul solar. Atât în limita câmpului slab (ca în sistemul solar), cât și cu câmpurile mai puternice prezente în sistemele de pulsari binari, predicțiile relativității generale au fost extrem de bine testate la nivel local.

În februarie 2016, echipa Advanced LIGO a anunțat că a detectat direct unde gravitaționale de la o fuziune cu gaura neagră. Această descoperire, împreună cu detectările suplimentare anunțate în iunie 2016 și iunie 2017, au testat relativitatea generală în limita foarte puternică a câmpului, neobservând până în prezent nici o abatere de la teorie.

Radiații gravitaționale

Conform relativității generale, radiația gravitațională este generată în situațiile în care curbura spațiutimpului oscilează, cum este cazul obiectelor cu co-orbite. Radiația gravitațională emisă de sistemul solar este mult prea mică pentru a se măsura. Cu toate acestea, radiația gravitațională a fost observată indirect ca o pierdere de energie în timp în sisteme pulsare binare, cum ar fi PSR B1913+16. Se crede că fuziunile cu stele neutronice și formarea

găurilor negre pot crea cantități detectabile de radiații gravitaționale. Observatoarele de radiații gravitaționale, cum ar fi Observatorul de unde gravitaționale cu interferometru cu laser (LIGO), au fost create pentru a studia această problemă. În februarie 2016, echipa LIGO avansată a anunțat că au detectat unde gravitaționale dintr-o coliziune a găurilor negre. La 14 septembrie 2015, LIGO a înregistrat pentru prima dată unde gravitaționale, ca urmare a coliziunii a două găuri negre la 1,3 miliarde de ani-lumină de la Pământ. Această observație confirmă predicțiile teoretice ale lui Einstein și ale altora că astfel de unde există. Evenimentul confirmă existența găurilor negre binare. De asemenea, deschide calea pentru observarea practică și înțelegerea naturii gravitației și evenimentelor din Univers, inclusiv Big Bang-ul și ceea ce s-a întâmplat după el.

Viteza gravitației

În decembrie 2012, o echipă de cercetători din China a anunțat că a produs măsurători ale fazei de fază a desplasării suprafeței Pământului în timpul lunilor pline și noi, care par să demonstreze că viteza gravitației este egală cu viteza luminii. Aceasta înseamnă că, dacă Soarele ar dispărea dintr-o dată, Pământul ar continua să o orbiteze în mod normal timp de 8 minute, ceea ce înseamnă timpul necesar pentru lumină să călătorească pe acea distanță. Rezultatele echipei au fost publicate în Buletinul științific chinez în februarie 2013.

În octombrie 2017, detectoarele LIGO și Virgo au primit semnale de undă gravitațională în 2 secunde de la sateliții cu raze gama și telescoapele optice văzând semnale din aceeași direcție. Aceasta a confirmat că viteza undelor gravitaționale e aceeași cu viteza luminii.

Teste clasice

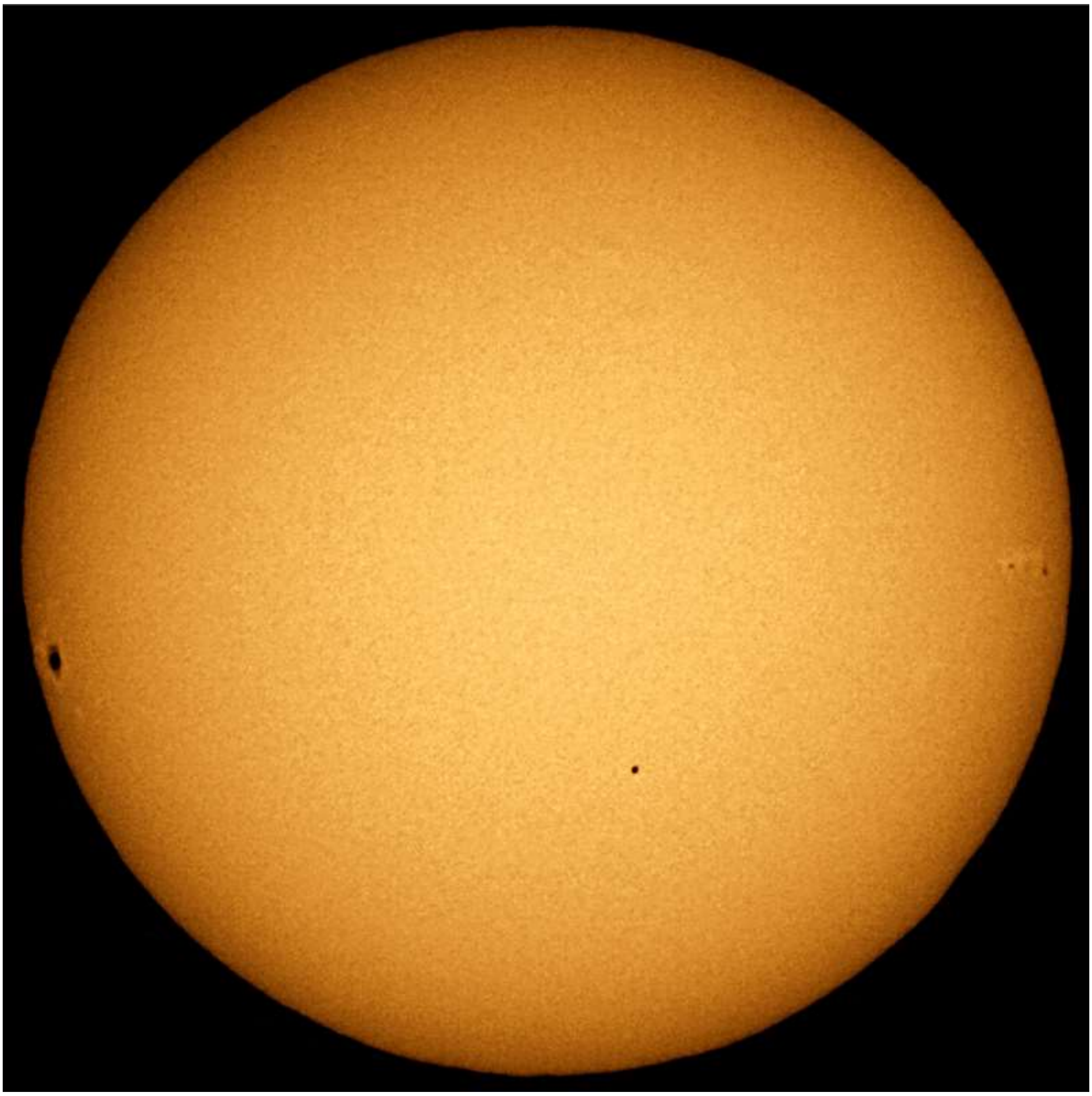
Albert Einstein a propus trei teste ale relativității generale, numite ulterior **testele clasice ale relativității generale**, în 1916:

1. precesiunea periheliului orbitei lui Mercur
2. devierea luminii de către Soare
3. deplasarea spre roșu gravitațională a luminii

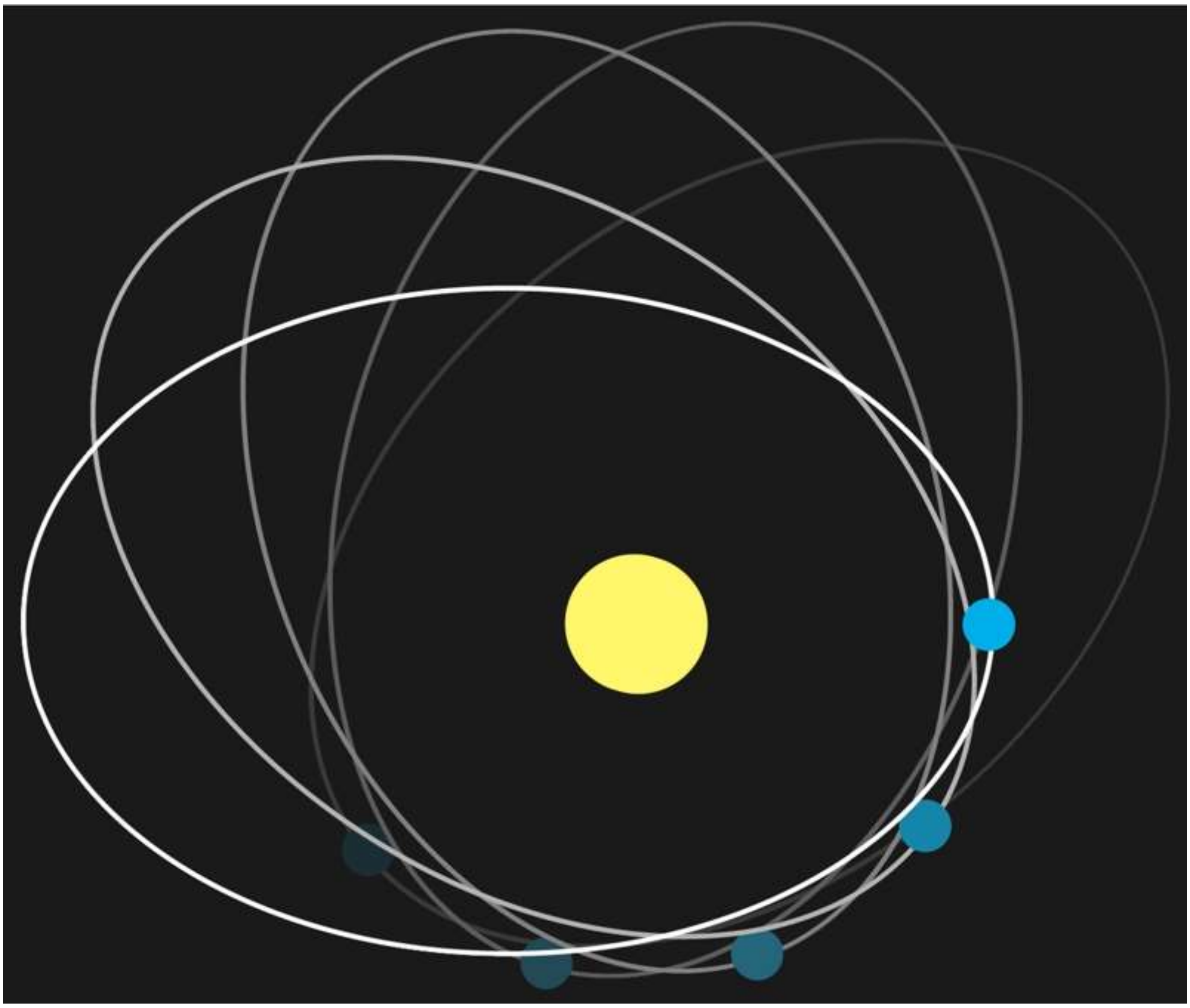
În scrisoarea către *The Times* din Londra, din 28 noiembrie 1919, el a descris teoria relativității și a mulțumit colegilor săi englezi pentru înțelegerea și testarea muncii sale. El a menționat de asemenea trei teste clasice cu comentarii:

"Atracția principală a teoriei constă în completitudinea ei logică, dacă una singură dintre concluziile extrase din ea se dovedește a fi greșită, trebuie abandonată; modificarea acesteia fără a distruge întreaga structură pare imposibilă".

Precesiunea periheliului lui Mercur



(Tranzitul lui Mercur pe data de 8 noiembrie 2006 cu petele solare # 921, 922 și 923. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mercury_transit_2.jpg)



(Precesiunea periheliului lui Mercur)

În fizica newtoniană, un sistem de două corpuri constând dintr-un singur obiect care orbitează o masă sferică ar fi urmărit o elipsă cu masa sferică în un focar. Punctul cel mai apropiat, numit periapsis (sau, deoarece corpul central al sistemului solar este Soarele, periheliu), este fixat. O serie de efecte în sistemul solar provoacă periheliile planetelor să aibă precesie (să se rotească) în jurul Soarelui. Cauza principală este prezența altor planete care perturbă orbita celorlalte. Un alt efect (mult mai puțin semnificativ) este elipticitatea soarelui.

Mercurul se abate de la precesiunea prezisă din aceste efecte newtoniene. Această rată anormală de precesiune a periheliului orbitei lui Mercur a fost recunoscută pentru prima dată în 1859 ca o problemă în mecanica cerească, de Urbain Le Verrier. Reanaliza lui a observațiilor temporale disponibile a tranzitelor lui Mercur peste discul Soarelui din 1697 până în 1848 a arătat că rata reală a precesiunii nu a fost în acord cu cea prognozată din teoria lui Newton de 38" (arc secunde) pe secol tropical (mai târziu reevaluată la 43" de Simon Newcomb în 1882. Au fost propuse câteva soluții ad-hoc în cele din urmă nereușite, care aveau tendința de a introduce mai multe probleme.

În relativitatea generală, această precesie, sau schimbarea orientării elipsei orbitale în planul ei orbital, se explică prin gravitația mediată de curbura spațiului. Einstein a arătat că relativitatea generală este în acord cu cantitatea observată de schimbare a periheliilor. Acesta a fost un factor puternic care motivează adoptarea relativității generale.

Deși măsurătorile anterioare ale orbitelor planetare au fost făcute cu ajutorul telescoapelor convenționale, măsurătorile mai precise sunt făcute acum cu ajutorul radarului. Precesia totală observată a lui Mercur este de 574,10"± 0,65 pe secol față de ICRF inerțial. Această precesie poate fi atribuită următoarelor cauze:

Surse de precesiune a periheliului pentru Mercur

Valoarea (arcsec/secol iulian)	**Cauză**
532.3035	Atracția gravitațională a altor corpuri solare
0.0286	Elipticitatea Soarelui (moment cvadrupol)
42.9799	Efecte gravitoelectrice (asemănătoare cu Schwarzschild)
−0.0020	Precesia Lense–Thirring
575.31	Total prezisă
574.10±0.65	Observată

Corecția cu 42.98 "este de 3/2 multiplu al predicției clasice cu parametrii PPN $\gamma = \beta = 1$. Astfel, efectul poate fi explicat pe deplin prin relativitatea generală. Calculele mai recente, bazate pe măsurători mai precise, nu au schimbat semnificativ situația.

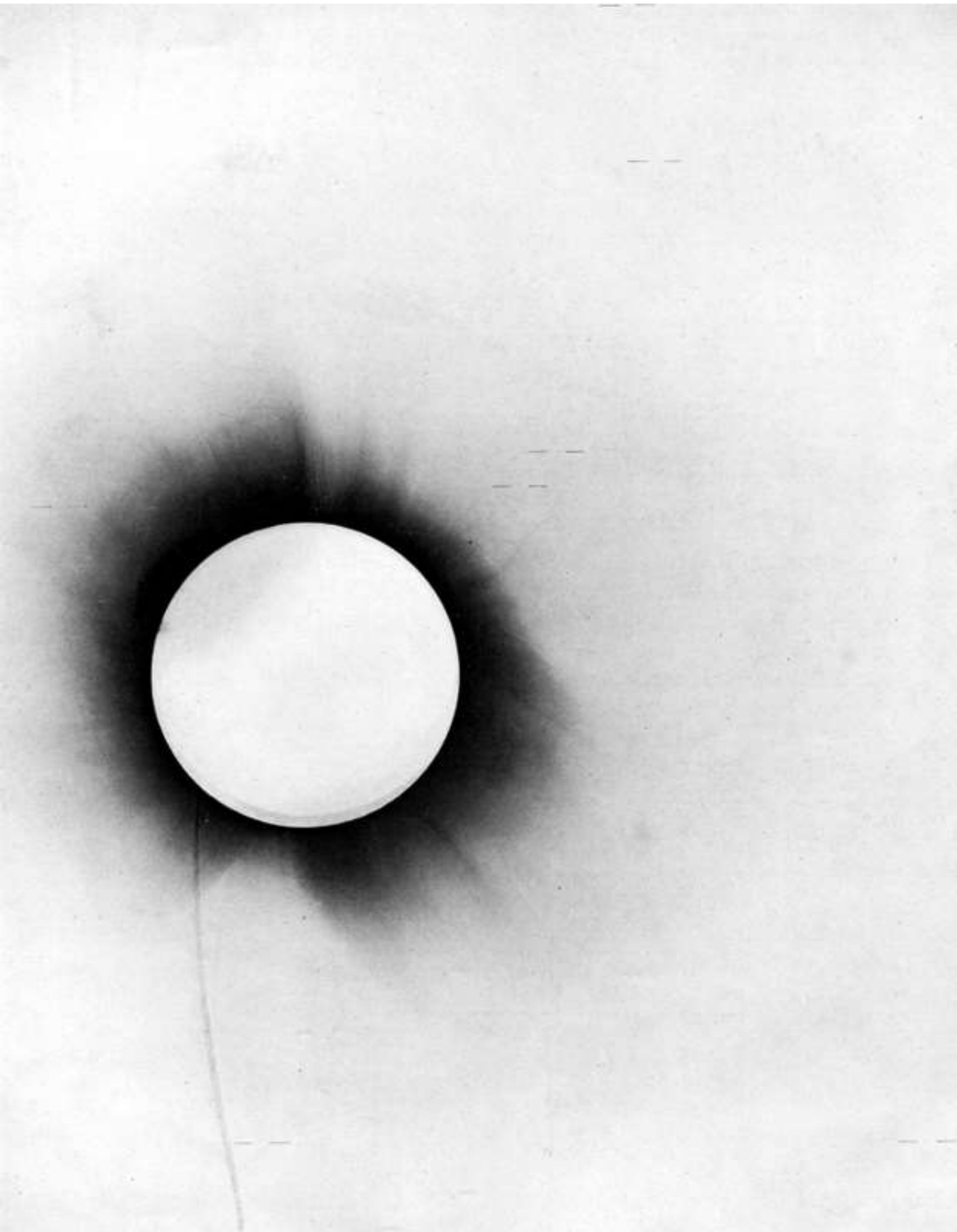
În relativitatea generală, deplasarea periheliilor *σ*, exprimată în radiani pe revoluție, este dată de:

$$\sigma = 24\pi^3 L^{2/} T^2 c^2 (1 - e^2),$$

unde *L* este axa semi-majoră, *T* este perioada orbitală, *c* este viteza luminii și *e* este excentricitatea orbitală.

Celelalte planete se confruntă și ele cu deplasări de perihelii, dar, deoarece sunt mai departe de Soare și au perioade mai lungi, schimbările lor sunt mai mici și nu au putut fi observate cu exactitate decât după Mercur. De exemplu, schimbarea periheliului orbitei Pământului datorită relativității generale este de 3,84" pe secol, iar la Venus este de 8,62". Ambele valori au fost măsurate acum, cu rezultate bune în acord cu teoria. De asemenea, schimbarea periapsisului a fost măsurată pentru sistemele binare de pulsari, cu PSR 1913+16 în valoare de 4,2º pe an. Aceste observații sunt în concordanță cu relativitatea generală. Este, de asemenea, posibil să se măsoare schimbarea periapsisului în sistemele binare de stele care nu conțin stele ultra-dense, dar este mai dificil de a modela efectele clasice precis - de exemplu, alinierea rotației stelelor la planul lor orbital trebuie să fie cunoscute și sunt greu de măsurat direct. Câteva sisteme, cum ar fi DI Herculis, au fost măsurate fiind considerate cazuri de testare a relativității generale.

Devierea luminii de către Soare



(Una dintre fotografiile lui Eddington despre experimentul eclipselor solare din 1919, prezentată în lucrarea sa din 1920 care anunță succesul său)

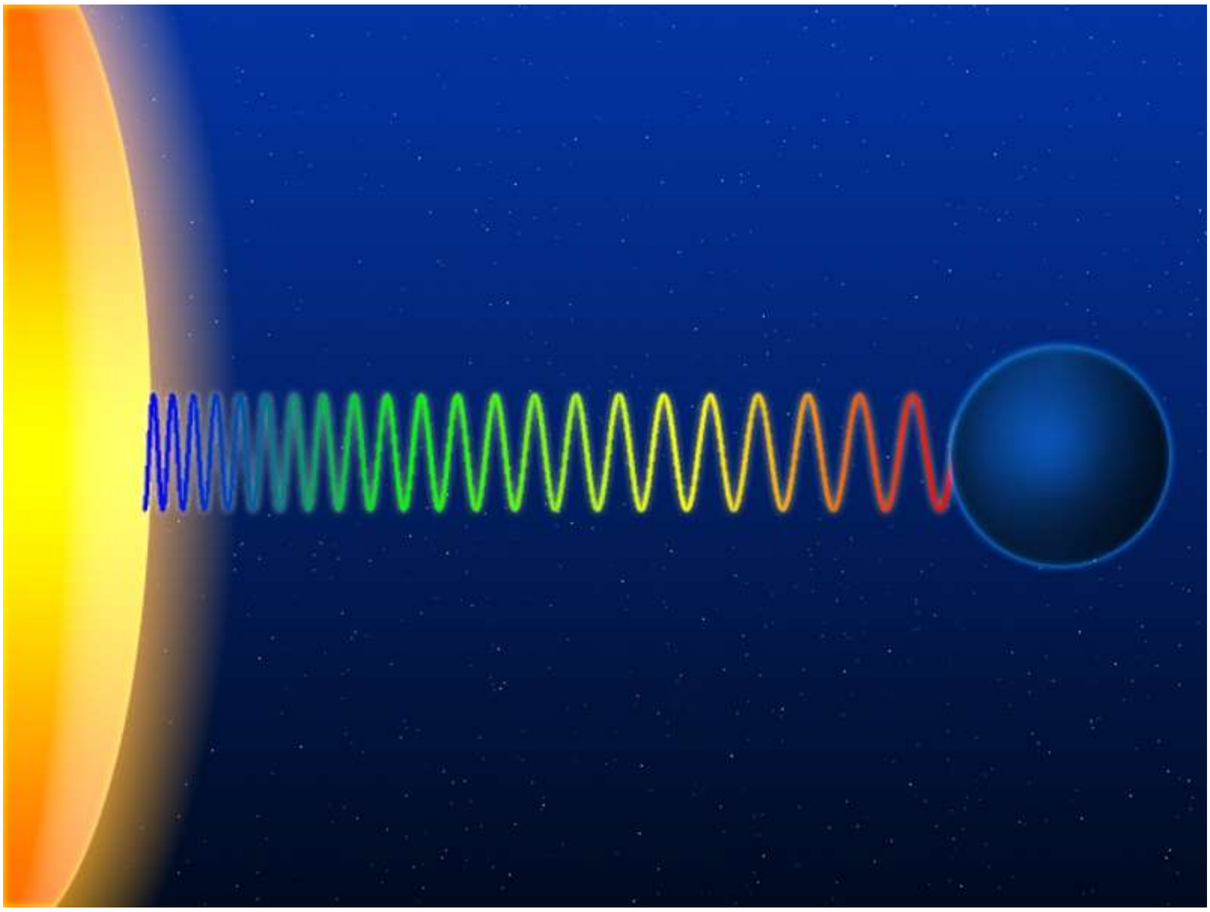
Henry Cavendish în 1784 (într-un manuscris nepublicat) și Johann Georg von Soldner în 1801 (publicat în 1804) au arătat că gravitația newtoniană prezice faptul că lumina stelelor se va curba în jurul unui obiect masiv. Aceeași valoare ca cea a lui Soldner a fost calculată de

Einstein în 1911 numai pe baza principiului echivalenței. Cu toate acestea, în 1915, Einstein a notat că în procesul de dezvoltare a relativității generale rezultă că rezultatul său (și astfel al lui Soldner) din 1911 este doar jumătate din valoarea corectă. Einstein a fost primul care a calculat valoarea corectă pentru curbarea luminii.

Prima observație a devierii luminii a fost efectuată prin notarea schimbării poziției stelelor pe măsură ce acestea au trecut lângă Soare pe sfera cerească. Observațiile au fost realizate de Arthur Eddington și de colaboratorii săi în timpul eclipsei totale a soarelui din 29 mai 1919, când stelele din apropierea Soarelui (la acel moment în constelația Taurus) puteau fi observate. Observațiile au fost făcute simultan în orașele Sobral, Ceará, Brazilia și São Tomé și Príncipe, pe coasta de vest a Africii. Rezultatul a fost considerat o știre spectaculoasă și a ținut prima pagină a majorității ziarelor importante. Ea a făcut ca Einstein și teoria sa a relativității generale să ajungă celebri pe plan mondial. Când a fost întrebat de către asistentul său ce reacție ar fi avut dacă relativitatea generală nu ar fi fost confirmată de Eddington și Dyson în 1919, Einstein a făcut faimoasa afirmație: "Atunci mi-ar fi părut rău pentru Dumnezeu. Teoria este oricum corectă."

Precizia inițială, cu toate acestea, a fost slabă. Rezultatele, au susținut unii, au fost afectate de eroarea sistematică și posibil de prejudecata de confirmare, deși reanaliza modernă a setului de date sugerează că analiza lui Eddington a fost corectă. Măsura a fost repetată de o echipă de la Lick Observatory în eclipsa din 1922, cu rezultate care au fost de acord cu rezultatele din 1919 și au fost repetate de mai multe ori de atunci, mai ales în 1953 de către astronomii de la observatorul Yerkes și în 1973 de o echipă de la Universitatea din Texas. Incertitudinea considerabilă a rămas în aceste măsurători timp de aproape cincizeci de ani, până când observațiile au început să se facă la frecvențe radio. În timp ce Soarele este prea aproape pentru ca un inel Einstein să se afle în afara coroanei sale, un asemenea inel format de devierea luminii din galaxii îndepărtate a fost observat pentru o stea din apropiere.

Deplasarea gravitațională spre roșu a luminii



(Deplasarea gravitațională spre roșu a luminii în timp ce se deplasează în sus contra unui câmp gravitațional (cauzat de steaua galbenă de mai jos). https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gravitational_red-shifting.png)

Einstein a prezis deplasarea spre roșu gravitațională a luminii din principiul echivalenței din 1907 și a anticipat că acest efect ar putea fi măsurat în liniile spectrale ale unei stele pitice albe, care are un câmp gravitațional foarte mare. Încercările inițiale de măsurare a deplasării spre roșu gravitațională a spectrului lui Sirius-B au fost făcute de Walter Sydney Adams în 1925, dar rezultatul a fost criticat ca fiind inutilizabil datorită contaminării din lumina stelei primare Sirius (mult mai strălucitoare). Prima măsurare precisă a deplasării spre roșu gravitațională a unei pitice albe a fost făcută de Popper în 1954, măsurând o deplasarea spre roșu gravitațională de 21 km/sec la 40 Eridani B.

Deplasarea spre roșu a lui Sirius B a fost în cele din urmă măsurată de Greenstein et al. în 1971, obținând valoarea deplasării spre roșu gravitațională de 89±19 km/sec, cu măsurători mai precise prin Telescopul spațial Hubble, care arată 80,4±4,8 km/sec.

…………………………………..

4. Gravitația cuantică

Ultimele decenii indică "o estompare a distincției dintre știința fizică și abstractizarea matematică ... [reflectând] o tendință crescătoare de a accepta, iar în unele cazuri de a ignora, probleme grave de testare." Oldershaw enumeră zeci de probleme majore de netestare în epoca pre-instrumentalistă.

Din punct de vedere metodologic, atât Newton cât și Einstein, și ulterior Dirac, au susținut fără rezerve principiul simplității matematice în descoperirea noilor legi fizice ale naturii. Lor li s-au alăturat și Poincaré și Weyl. "Pentru Dirac, principiul frumuseții matematice a fost parțial o moralitate metodologică și parțial un postulat despre calitățile naturii. El a fost inspirată în mod clar de teoria relativității, de relativitatea generală în special, și de dezvoltarea mecanicii cuantice... considerațiile matematice-estetice ar trebui (uneori) să aibă prioritate față de faptele experimentale și în felul acesta să acționeze ca și criterii ale adevărului."

Eduard Prugovecki afirmă că gravitația cuantică a impus luarea în considerare a unor întrebări epistemologice fundamentale, care pot fi identificate în filosofie cu problema minții-corp și cu problema liberului arbitru. Aceste întrebări au influențat epistemologia mecanicii cuantice sub forma "paralelismului psiho-fizic" al lui von Neumann și analiza ulterioară a tezei de către Wigner că "reducerea pachetului de unde" are loc în mintea "observatorului". Gravitația cuantică în cosmologie implică problema libertății experimentatorului de a schimba condițiile fizice locale, un "observator" pasiv. În orice teorie care descrie un singur univers se nasc întrebări cu privire la natura cauzalității în sensul filosofic tradițional.

O teorie cuantică a gravitației poate fi utilă în unificarea relativității generale cu principiile mecanicii cuantice, dar apar dificultăți în această încercare. Teoria rezultată nu este renormalizabilă, și nu poate face predicții fizice semnificative. Dezvoltările ulterioare au dus la teoria corzilor și gravitația cuantică în bucle. Structura relativității generale ar rezulta din mecanica cuantică a interacțiunii particulelor teoretice fără masă de tip spin-2, numite gravitoni, deși nu există dovezi concrete ale acestora.

Dilatonul a apărut în teoria lui Kaluza-Klein, o teorie cinci-dimensională care combina gravitația și electromagnetismul, și ulterior în teoria corzilor. Ecuația câmpului care guvernează dilatonul, derivată din geometria diferențială, ar putea fi supusă cuantizării. Deoarece această teorie poate combina efectele gravitaționale, electromagnetice și cuantice, cuplarea lor ar putea conduce la un mijloc de justificare a teoriei prin cosmologie și experimente.

Cu toate acestea, gravitația este nerenormalizabilă perturbativ. Teoria trebuie să fie caracterizată printr-o alegere a unor parametri *finit de mulți*, care, în principiu, se pot stabili prin experiment. Dar, în cuantificarea gravitației există, în teoria perturbației, *infinit de mulți parametri independenți* necesari pentru a defini teoria.

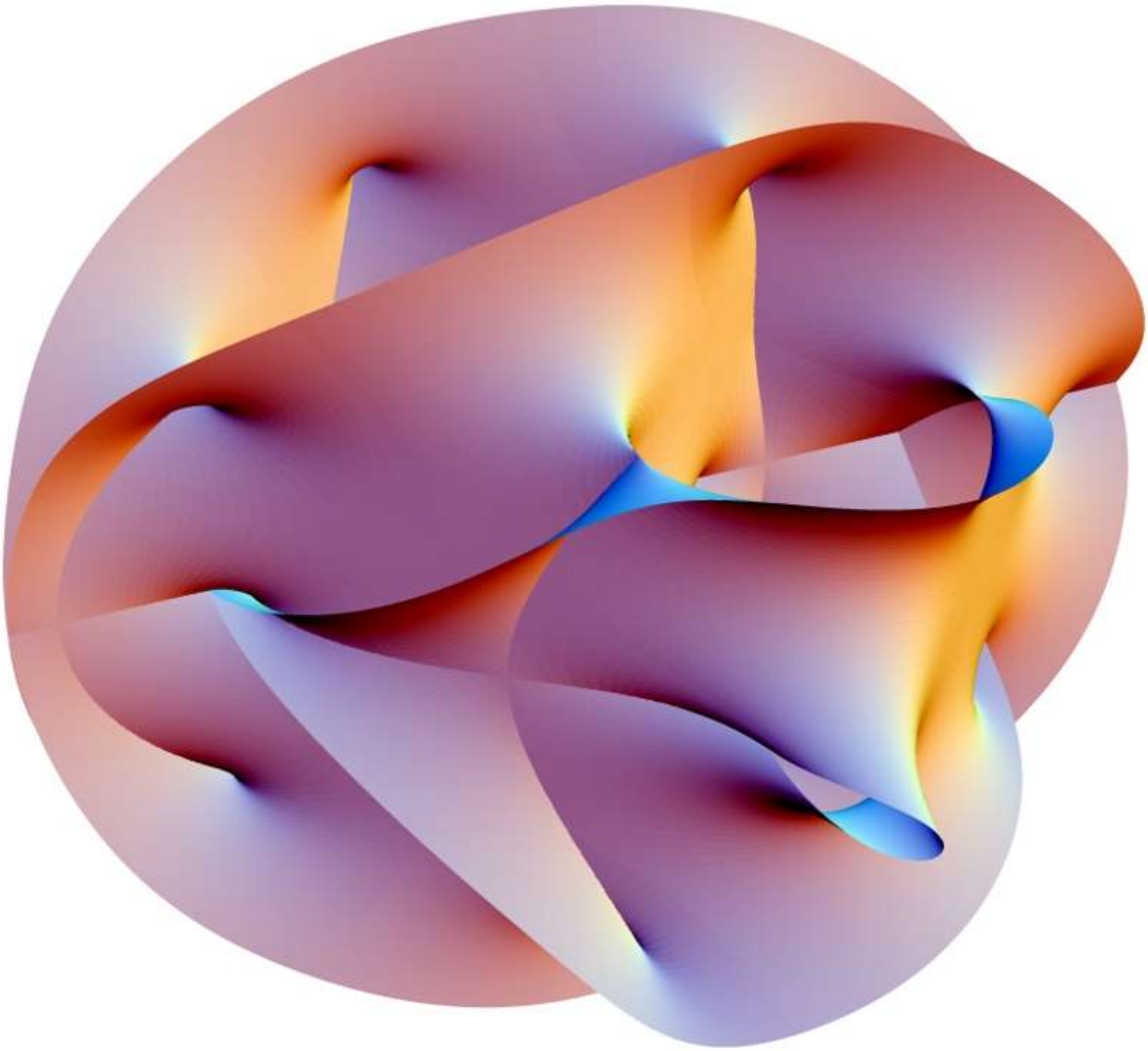
Este posibil ca, într-o teorie corectă a gravitației cuantice, parametrii necunoscuți infiniți să se reducă la un număr finit care poate fi apoi măsurat. Una din posibilități este să existe principii de simetrie noi, nedescoperite, care constrâng parametrii și îi reduc la un set finit, o cale urmată de teoria corzilor

………………………………..

Teorii candidate

Există o serie de teorii cu privire la gravitația cuantică. În prezent, nu există încă o teorie cuantică a gravitației completă și consistentă, iar modelele candidate trebuie încă să depășească probleme majore formale și conceptuale. Ele se confruntă, de asemenea, cu problema obișnuită că, până acum, nu există nicio modalitate de a pune predicțiile gravitației cuantice la testele experimentale, deși există speranță ca aceasta să se schimbe pe măsură ce vor apărea date viitoare din observațiile cosmologice și experimentele fizicii particulelor.

Teoria corzilor



(Proiecția unei varietăți Calabi-Yau, una dintre căile de compactizare a dimensiunilor suplimentare impuse de teoria corzilor. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Calabi-Yau.png)

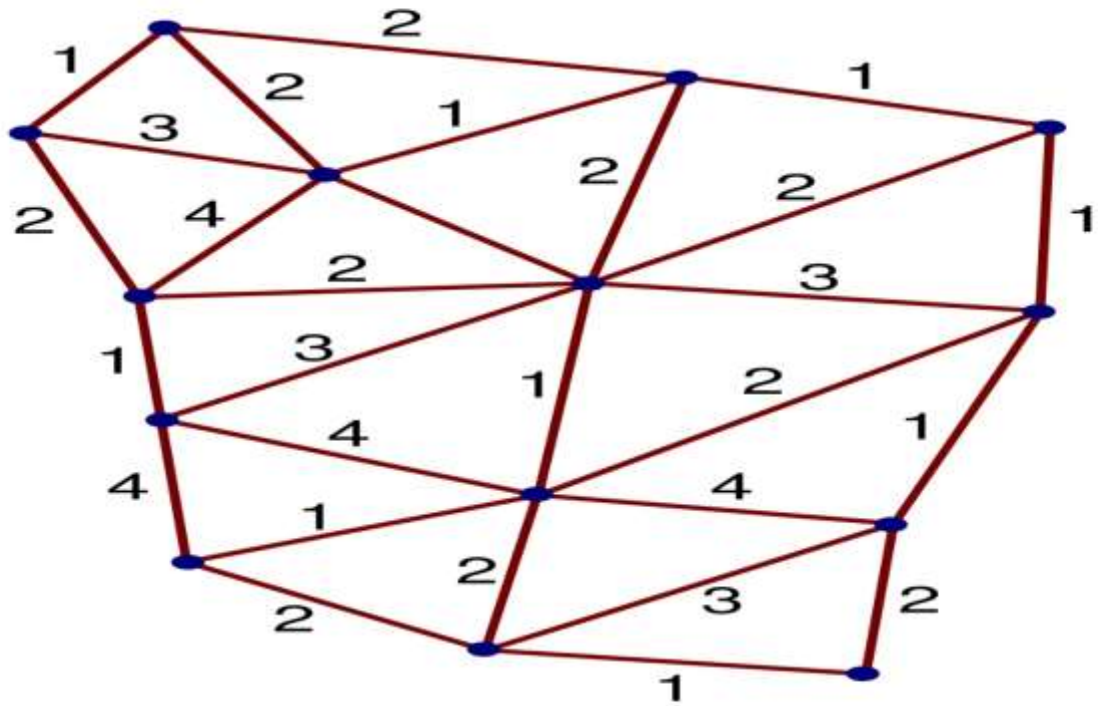
Un punct de plecare sugerat sunt teoriile obișnuite ale câmpurilor cuantice care reușesc să descrie celelalte trei forțe fundamentale fundamentale în contextul modelului standard al fizicii particulelor elementare. Cu toate acestea, în timp ce aceasta conduce la o teorie acceptabilă (cuantică) a gravitației la energii joase, gravitația se dovedește a fi mult mai

problematică la energii mai mari. Pentru teoriile obișnuite ale câmpului, cum ar fi electrodinamica cuantică, o tehnică cunoscută ca renormalizare este o parte integrantă a derivării predicțiilor care iau în considerare contribuțiile energetice mai mari, dar gravitația se dovedește a fi nerenormalizabilă: la energii înalte, aplicarea rețetelor obișnuite ale teoriei câmpului cuantic produce modele care sunt lipsite de orice puterea predictivă.

O încercare de a depăși aceste limitări este aceea de a înlocui teoria obișnuită a câmpului cuantic, care se bazează pe conceptul clasic de particulă punctuală, cu o teorie cuantică a obiectelor extinse unidimensionale: teoria corzilor. La energiile atinse în experimentele curente, aceste corzi sunt de nedistins de particulele punctuale, dar, în mod crucial, diferite moduri de oscilație ale aceluiași tip de coardă fundamentală apar ca particulele cu sarcini diferite (electrice și altfel). În acest fel, teoria corzilor promite să fie o descriere unificată a tuturor particulelor și interacțiunilor. Teoria are succes prin faptul că un mod va corespunde întotdeauna unui graviton, particulă mesager a gravitației; cu toate acestea, prețul acestui succes sunt caracteristici neobișnuite, cum ar fi șase dimensiuni suplimentare ale spațiului, în plus față de cele trei obișnuite pentru spațiu și una pentru timp.

În ceea ce se numește a doua revoluție a supercorzilor, s-a presupus că atât teoria corzilor, cât și o unificare a relativității generale și supersimetriei, cunoscute sub denumirea de supergravitație, fac parte dintr-un model ipotetic cu unsprezece dimensiuni cunoscut sub numele de teoria-M, care ar constitui o teorie unic definită și consistentă a gravitației cuantice. După cum se înțelege în prezent, însă, teoria corzilor admite un număr foarte mare (10500 prin unele estimări) de viduri consistente, care cuprinde așa-numitul "peisaj de corzi". Sortarea prin această mare familie de soluții rămâne o provocare majoră.

Gravitația cuantică în bucle



(Rețea simplă de spin de tipul utilizat în gravitația cuantică în bucle. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Spin_network.svg)

Gravitația cuantică în bucle ia în considerare abordarea relativității generale că spațiu-timpul este un câmp dinamic și, prin urmare, este un obiect cuantic. Cea de-a doua idee este că discretitudinea cuantică care determină comportamentul asemănător cu particulele altor teorii ale câmpului (de exemplu, fotonii câmpului electromagnetic) afectează și structura spațiului.

Rezultatul principal al gravitației cuantice în bucle este derivarea unei structuri granulare de spațiu la lungimea Planck. Acest lucru este derivat din următoarele considerații: În cazul electromagnetismului, operatorul cuantic reprezentând energia fiecărei frecvențe a câmpului are un spectru discret. Astfel, energia fiecărei frecvențe este cuantizată, iar cuantele sunt fotoni. În cazul gravitației, operatorii care reprezintă zona și volumul fiecărei zone de suprafață sau spațiu au de asemenea un spectru discret. Astfel, suprafața și volumul oricărei porțiuni din spațiu sunt, de asemenea, cuantificate, unde cuantele sunt canale elementare ale spațiului. Rezultă atunci că spațiul are o structură elementară granulară cuantică la scara Planck, care stopează infiniturile ultraviolete ale teoriei câmpului cuantic.

………………………………………

4.4 Teoria corzilor

În fizică, **teoria corzilor** este un cadru teoretic în care particulele punctuale din fizica particulelor sunt înlocuite de obiecte unidimensionale numite *corzi*. Ea descrie modul în care aceste corzi se propagă prin spațiu și interacționează una cu cealaltă. În cazul scalelor de distanță mai mari decât scala corzilor, o coardă arată ca o particulă obișnuită, cu masa, sarcina și alte proprietăți determinate de starea vibrațională a corzii. În teoria corzilor, una dintre multele stări vibraționale ale corzilor corespunde cu gravitonul, o particulă din mecanică cuantică care poartă forța gravitațională. Astfel, teoria corzilor este o teorie a gravitației cuantice.

Teoria corzilor este un subiect larg și variat, care încearcă să abordeze o serie de întrebări profunde ale fizicii fundamentale. Ea a fost aplicată la o varietate de probleme în fizica găurilor negre, cosmologia universului timpuriu, fizica nucleară și fizica materiei condensate, și a stimulat o serie de evoluții majore în matematica pură. Deoarece teoria corzilor oferă o descriere unificată a gravitației și fizicii particulelor, este un candidat pentru o teorie a tuturor, un model matematic autonom care descrie toate forțele și formele fundamentale ale materiei. În ciuda multor lucrări pe aceste probleme, nu se știe în ce măsură teoria corzilor descrie lumea reală sau câtă libertate permite teoria în alegerea detaliilor sale.

Teoria corzilor a fost studiată pentru prima dată la sfârșitul anilor 1960 ca o teorie a forței nucleare puternice, înainte de a fi abandonată în favoarea cromodinamicii cuantice. Ulterior, s-a constatat că proprietățile care făceau teoria corzilor inadecvată ca o teorie a fizicii nucleare au făcut-o un candidat promițător pentru o teorie cuantică a gravitației. Cea mai veche versiune a teoriei corzilor, *teoria corzilor bosonice*, încorporează numai clasa de particule cunoscute sub numele de bosoni. Ulterior, ea s-a dezvoltat în *teoria supercorzilor*, care posedă o conexiune numită supersimetrie între bosoni și clasa de particule numite fermioni. Au fost dezvoltate cinci versiuni consecvente ale teoriei supercorzilor înainte de a fi conjecturat la mijlocul anilor 1990 că erau cazuri limitative cu totul diferite ale unei singure teorii în unsprezece dimensiuni cunoscute ca *teoria M*. La sfârșitul anului 1997, teoreticienii au descoperit o relație importantă numită corespondența AdS/CFT, care leagă teoria corzilor de un alt tip de teorie fizică numit teoria câmpului cuantic.

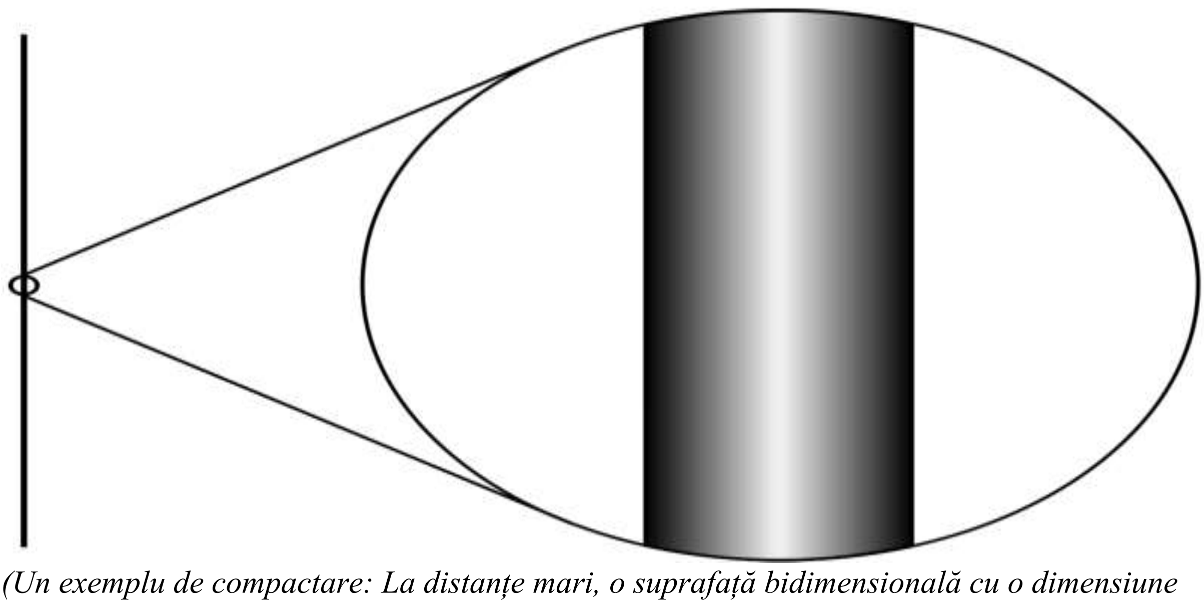
Una dintre provocările teoriei corzilor este că teoria completă nu are o definiție satisfăcătoare în toate circumstanțele. O altă problemă este că teoria este gândită să descrie un peisaj enorm de universuri posibile și acest lucru a complicat eforturile de a dezvolta teorii ale fizicii particulelor bazate pe teoria corzilor. Aceste probleme au atras critici din comunitate și a pus la îndoială valoarea cercetării continue privind unificarea teoriei corzilor.

Una dintre provocările teoriei corzilor este că teoria completă nu are o definiție satisfăcătoare în toate circumstanțele. Împrăștierea corzilor este definită cel mai clar folosind tehnicile teoriei perturbării, dar nu se știe în general cum să se definească teoria corzilor fără perturbare. De asemenea, nu este clar dacă există vreun principiu prin care teoria corzilor își selectează starea de vid, starea fizică care determină proprietățile universului nostru. Aceste probleme au determinat pe unii din comunitate să critice aceste abordări ale unificării fizicii și să pună la îndoială valoarea cercetărilor continue asupra acestor probleme.

În teoria câmpului cuantic, principalul obstacol este apariția infinităților netratabile în interacțiunile particulelor datorită posibilității unor distanțe arbitrare între particulele punctuale. Corzile, ca obiecte extinse, oferă un cadru mai bun, care permite calcule finite. Teoria corzilor face parte dintr-un un program de cercetare în care particulele punctuale din fizica particulelor sunt înlocuite de obiecte unidimensionale numite *corzi*. Ea descrie modul în care aceste corzi se propagă prin spațiu și interacționează una cu cealaltă. La scale de dimensiuni mai mari, o coardă arată ca o particulă obișnuită, cu masa, sarcina și alte proprietăți determinate de starea vibrațională a corzii. Una din stările vibraționale ale corzilor corespunde gravitonului, particula ipotetică din mecanică cuantică pentru forța gravitațională. Teoria corzilor se manifestă de obicei în cazul energiilor foarte mari, precum în fizica găurilor negre, cosmologia universului timpuriu, fizica nucleară și fizica materiei condensate. Teoria corzilor încearcă să unifice gravitația și fizicii particulelor, iar versiunile ei ulterioare încearcă să modifice toate forțele fundamentale din fizică.

……………………………………..

Dimensiuni suplimentare

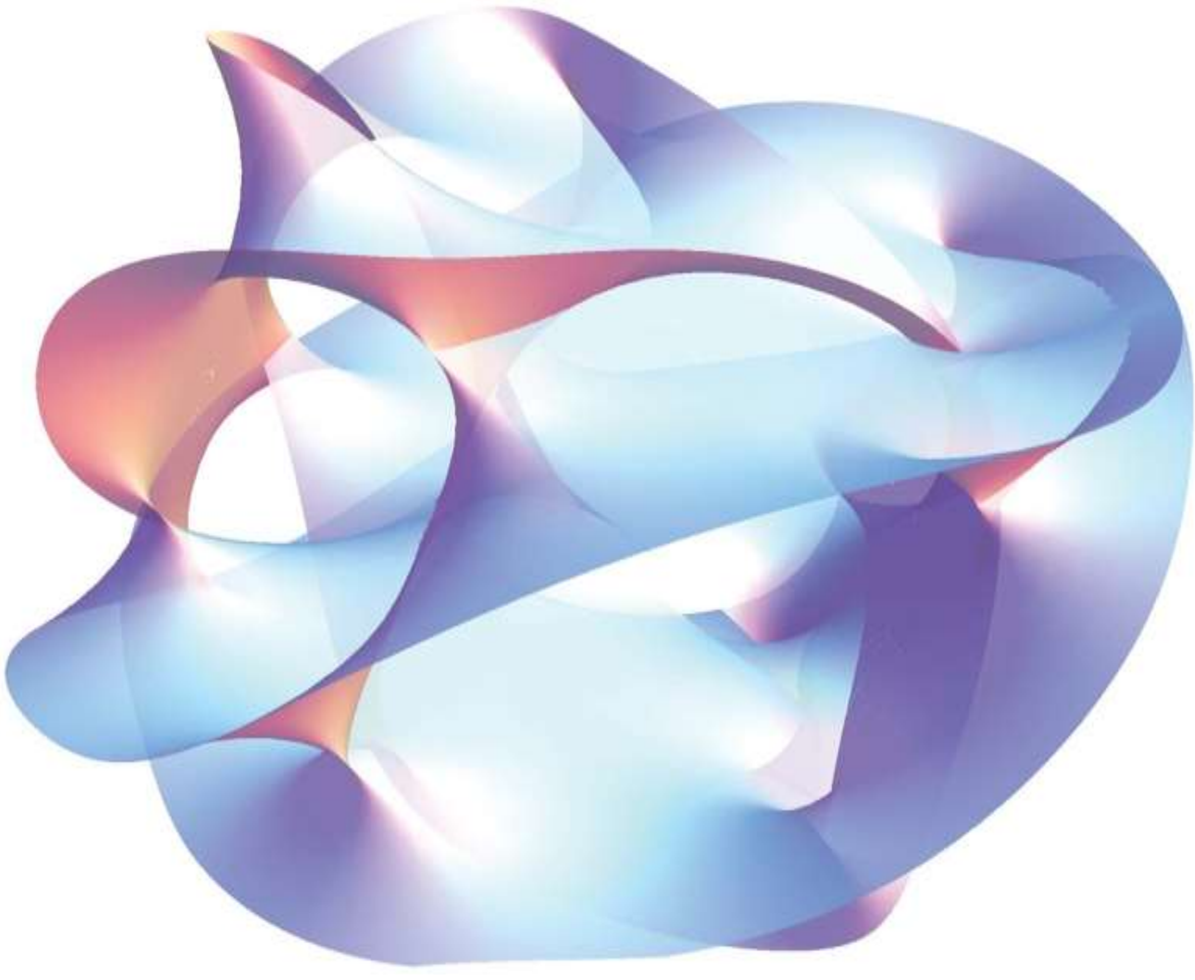


(Un exemplu de compactare: La distanțe mari, o suprafață bidimensională cu o dimensiune circulară pare unidimensională. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Compactification_example.svg)

În viața de zi cu zi există trei dimensiuni familiare ale spațiului: înălțime, lățime și lungime. Teoria generală a relativității a lui Einstein tratează timpul ca o dimensiune asemănătoare cu cele trei dimensiuni spațiale; în relativitatea generală, spațiul și timpul nu sunt modelate ca entități separate, ci sunt unite într-un spațiu-timp patru-dimensional. În acest context, fenomenul de gravitație este privit ca o consecință a geometriei spațiu-timpului .

În ciuda faptului că universul este bine descris de spațiu-timpul tridimensional, există mai multe motive pentru care fizicienii iau în considerare teoriile în alte dimensiuni. În unele cazuri, prin modelarea spațiu-timpului într-un număr diferit de dimensiuni, o teorie devine mai matematic tractabilă și se pot efectua calcule și se pot obține mai ușor informații generale. Există, de asemenea, situații în care teorii în două sau trei dimensiuni ale spațiu-timpului sunt utile pentru descrierea fenomenelor din fizica materiei condensate . În cele din urmă, există scenarii în care ar putea exista de fapt mai mult de patru dimensiuni ale spațiului, care totuși au reușit să scape detecției.

O caracteristică notabilă a teoriilor corzilor este că aceste teorii necesită dimensiuni suplimentare ale spațiu-timpului pentru consistența lor matematică. În teoria corzilor bosonice, spațiu-timpul este 26-dimensional, în timp ce în teoria supercorzilor este 10-dimensional, iar în teoria-M este 11-dimensional. Pentru a descrie fenomenele fizice reale folosind teoria corzilor, trebuie să ne imaginăm scenarii în care aceste dimensiuni suplimentare nu ar fi observate în experimente .



(O secțiune transversală a unei varietăți chintice Calabi-Yau)

Compactarea este o modalitate de a modifica numărul de dimensiuni într-o teorie fizică. În procesul de compactare, unele dintre dimensiunile suplimentare sunt presupuse a se "închide" pe ele însele pentru a forma cercuri. La limita în care aceste dimensiuni curbate devin foarte mici, se obține o teorie în care spațiu-timpul are efectiv un număr mai mic de dimensiuni. O analogie standard pentru acest lucru este de a considera un obiect multidimensional, cum ar fi un furtun de grădină. Dacă furtunul este văzut de la o distanță suficientă, pare că are doar o dimensiune, lungimea acestuia. Cu toate acestea, pe măsură ce ne apropiem de furtun, se descoperă că acesta conține o a doua dimensiune, circumferința sa. Astfel, o furnică târâtoare pe suprafața furtunului s-ar mișca în două dimensiuni.

Compactarea poate fi utilizată pentru a construi modele în care spațiu-timpul este efectiv patru-dimensional. Cu toate acestea, nu orice mod de compactare a dimensiunilor suplimentare produce un model cu proprietățile corecte pentru a descrie natura. Într-un model viabil al fizicii particulelor, dimensiunile compactate suplimentare trebuie să fie în formă de varietate Calabi-Yau. O varietate de Calabi-Yau este un spațiu special care este de obicei considerat a fi șase-dimensional în aplicațiile teoriei corzilor. Este numit după matematicienii Eugenio Calabi și Shing-Tung Yau.

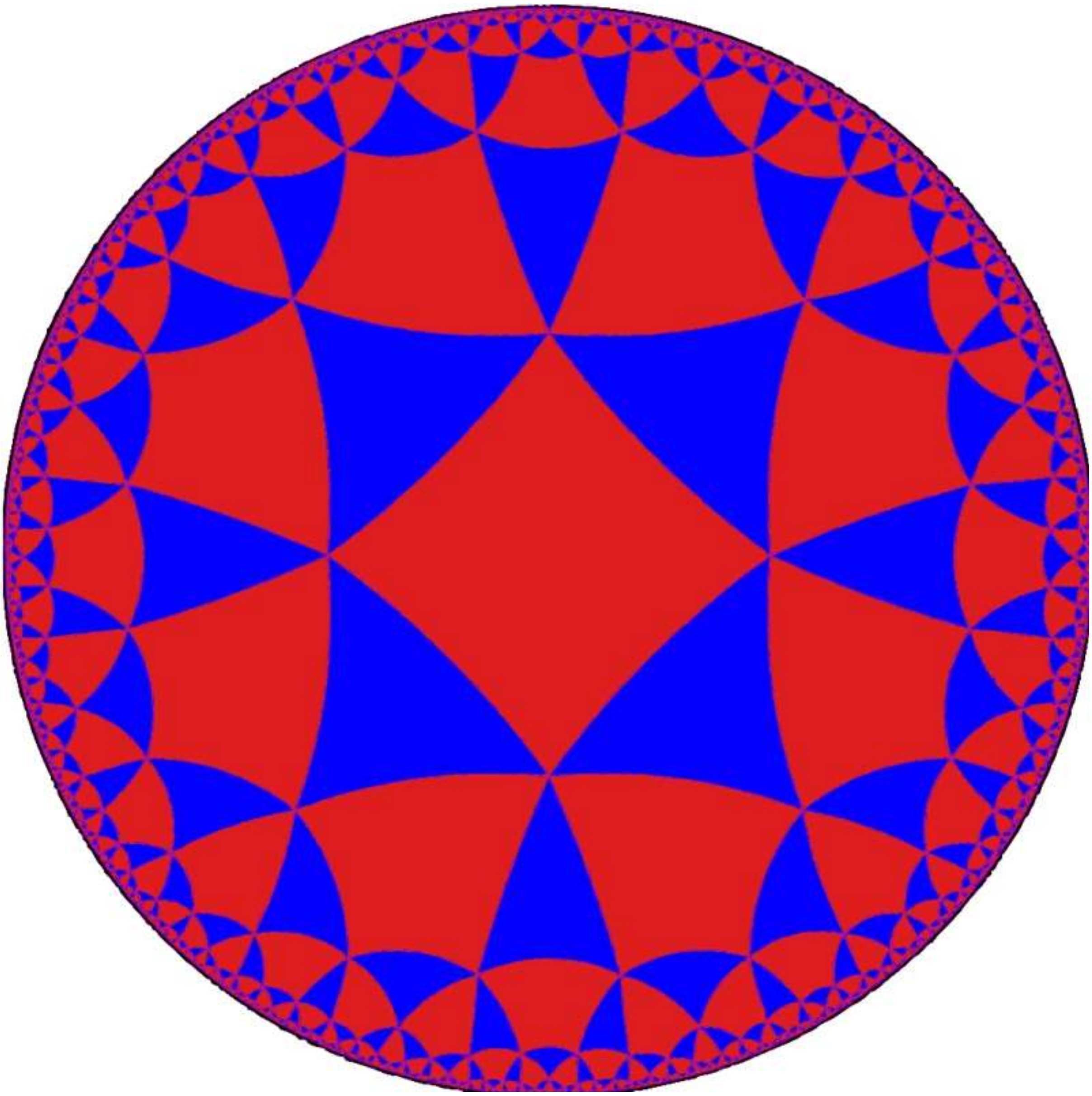
O altă abordare în vederea reducerii numărului de dimensiuni este așa-numitul scenariu al cosmologiei brane. În această abordare, fizicienii presupun că universul observabil este un subspațiu tridimensional al unui spațiu dimensional superior. În astfel de modele, bozonii de forță ai fizicii particulelor apar din corzi deschise cu puncte finale atașate la subspațiul tridimensional, în timp ce gravitația provine din corzile închise care se propagă prin spațiul ambiant mai mare. Această idee joacă un rol important în încercările de a dezvolta modele de fizică a lumii reale bazate pe teoria corzilor și oferă o explicație naturală pentru slăbiciunea gravitației în comparație cu celelalte forțe fundamentale.

………………………………………

Corespondența AdS/CFT

O abordare a formulării teoriei corzilor și a studierii proprietăților sale este furnizată de corespondența (ADS/CFT) a teoriei câmpurilor anti-de Sitter/conformale. Acesta este un rezultat teoretic care implică faptul că teoria corzilor este, în unele cazuri, echivalentă cu o teorie a câmpului cuantic. Pe lângă furnizarea de informații despre structura matematică a teoriei corzilor, corespondența AdS/CFT a scos în lumină multe aspecte ale teoriei câmpului cuantic în regimuri în care tehnicile de calculare tradiționale sunt ineficiente . Corespondența ADS/CFT a fost inițial propusă de Juan Maldacena la sfârșitul anului 1997. Aspectele importante ale corespondenței au fost elaborate în articole de Steven Gubser, Igor Klebanov și Alexander Markovich Polyakov și de Edward Witten [73]. Până în 2010, articolul lui Maldacena avea peste 7000 de citări, devenind cel mai citat articol din domeniul fizicii energiei înalte.

Prezentare generală a corespondenței

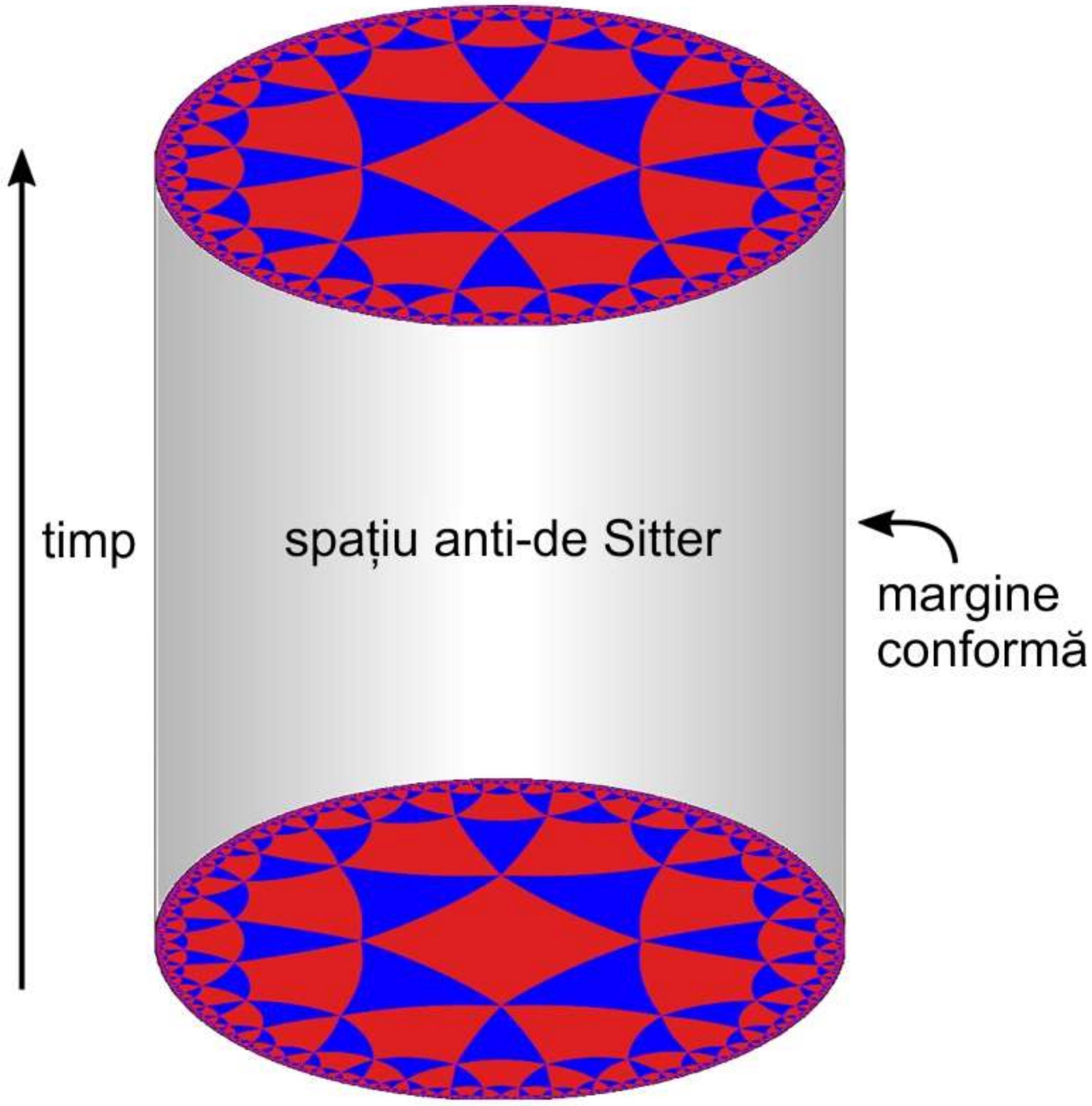


(Teselarea planului hiperbolic prin triunghiuri și pătrate. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Uniform_tiling_433-t0_(formatted).svg)

În corespondența AdS/CFT, geometria spațiu-timpului este descrisă în termenii unei anumite soluții de vid a ecuației lui Einstein numită spațiu anti-de Sitter. În termeni foarte elementari, spațiul anti-de Sitter este un model matematic al spațiu-timpului în care noțiunea de distanță între puncte (metrică) este diferită de noțiunea de distanță în geometria obișnuită euclidiană. Este strâns legat de spațiul hiperbolic, care poate fi privit ca un disc așa cum este ilustrat. Această imagine prezintă o teselare a unui disc prin triunghiuri și pătrate. Se poate defini distanța dintre punctele acestui disc astfel încât toate triunghiurile și pătratele să aibă aceeași dimensiune, iar marginea exterioară circulară este infinit departe de orice punct al interiorului .

Ne putem imagina un teanc de discuri hiperbolice unde fiecare disc reprezintă starea universului la un moment dat. Obiectul geometric rezultat este spațiul tridimensional anti-de

Sitter. Seamănă cu un cilindru solid în care orice secțiune transversală este o copie a discului hiperbolic. Timpul rulează de-a lungul direcției verticale din această imagine. Suprafața acestui cilindru joacă un rol important în corespondența AdS/CFT. Ca și în cazul planului hiperbolic, spațiul anti-de Sitter este curbat astfel încât orice punct din interior este de fapt infinit departe de această suprafață de graniță.



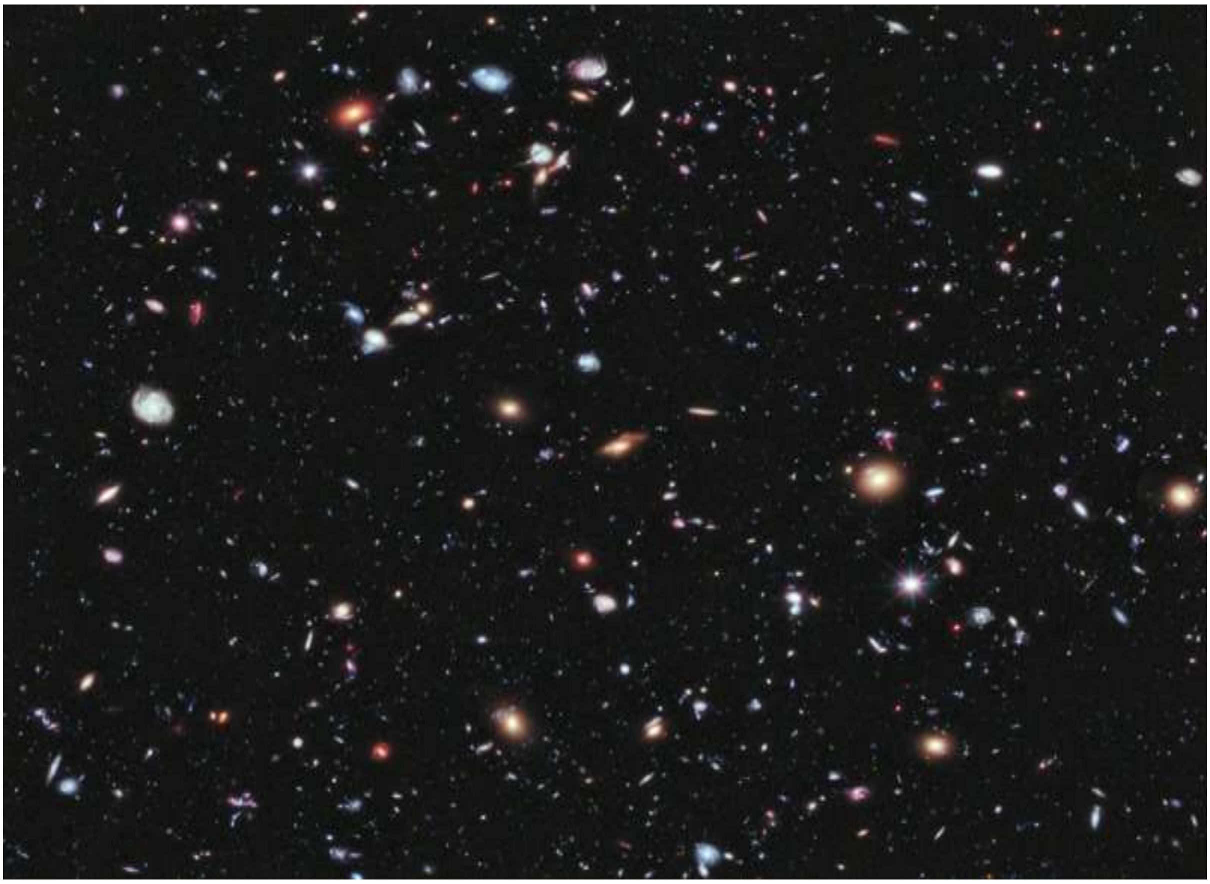
(Spațiul tridimensional anti-de Sitter este ca un teanc de discuri hiperbolice, fiecare reprezentând starea universului la un moment dat. Spațiu-timpul rezultat este ca un cilindru solid. https://en.wikipedia.org/wiki/File:AdS3.svg)

Această construcție descrie un univers ipotetic cu doar două dimensiuni de spațiu și o singură dimensiune a timpului, dar poate fi generalizat la orice număr de dimensiuni. Într-adevăr, spațiu-timpul hiperbolic poate avea mai mult de două dimensiuni și se pot "stivui" copii ale spațiului hiperbolic pentru a obține modele de dimensiuni mai mari ale spațiului anti-de Sitter.

O caracteristică importantă a spațiului anti-de Sitter este granița sa (care arată ca un cilindru în cazul spațiului anti-de Sitter tridimensional). O proprietate a acestei granițe este aceea că, într-o regiune mică pe suprafața din jurul oricărui punct dat, seamănă cu spațiul Minkowski, modelul de spațiu folosit în fizica nongravitațională . Se poate deci considera o teorie auxiliară în care "spațiul" este dat de limita spațiului anti-de Sitter. Această observație este punctul de plecare pentru corespondența AdS / CFT, care afirmă că granița spațiului anti-de Sitter poate fi considerată ca "spațiu" pentru o teorie a câmpului cuantic. Afirmația este că această teorie a câmpului cuantic este echivalentă cu o teorie gravitațională, cum ar fi teoria corzilor, în spațiul anti-de Sitter în masă, în sensul că există un "dicționar" pentru traducerea entităților și calcule într-o teorie în omologii lor în cealaltă teorie. De exemplu, o singură particulă în teoria gravitațională ar putea corespunde unei colecții de particule în teoria limitei. În plus, predicțiile din cele două teorii sunt identice din punct de vedere cantitativ, astfel încât, dacă două particule au o șansă de 40% să se ciocnească în teoria gravitațională, atunci colecțiile corespunzătoare din teoria limitelor ar avea, de asemenea, o șansă de coliziune de 40%.

………………………

5. Cosmologia



(Hubble eXtreme Deep Field (XDF) a fost finalizat în septembrie 2012 și prezintă cele mai îndepărtate galaxii fotografiate vreodată. Cu excepția câtorva stele din prim plan (care sunt luminoase și ușor de recunoscut deoarece au doar vârfuri de difracție), fiecare lumină din fotografie este o galaxie individuală, unele dintre ele vechi de 13,2 miliarde de ani; universul observabil este estimat a conține mai mult de 2 trilioane de galaxii.)

Cosmologia (din greacă κόσμος, *kosmos* „lume” și -λογία, *-logia* „studiul”) este studiul originii, evoluției și eventualei soarte a universului. Cosmologia cosmică este studiul științific al originii universului, structurile și dinamica pe scară largă și soarta sa finală, precum și legile științifice care guvernează aceste zone.

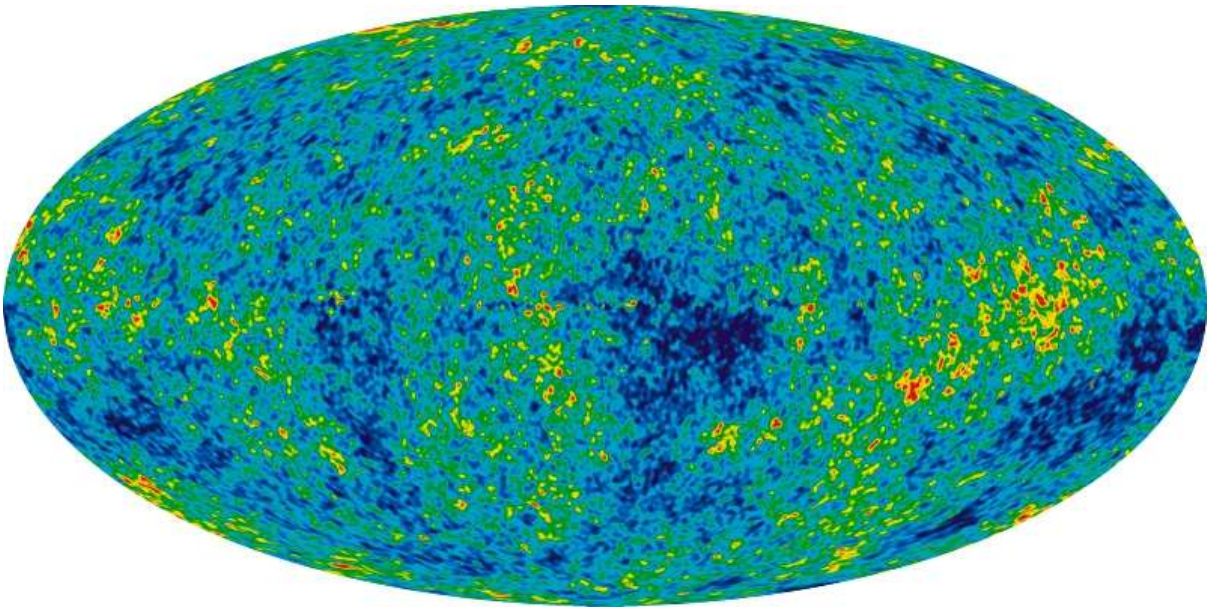
Termenul de *cosmologie* a fost folosit pentru prima oară în limba engleză în 1656 în *Glossographia* lui Thomas Blount și în 1731a fost preluată în latină de către filozoful german Christian Wolff, în *Cosmologia Generalis*.

Cosmologia religioasă sau mitologică este un corp de credințe bazat pe literatura mitologică, religioasă și esoterică și tradițiile miturilor creștine și eshatologie.

Cosmologia fizică este studiată de oameni de știință, cum ar fi astronomii și fizicienii, precum și de filosofi, cum ar fi metafizicienii, filozofii fizicii și filozofii spațiului și timpului. Din cauza acestui scop comun cu filozofia, teoriile din cosmologia fizică pot include atât propoziții științifice, cât și cele ne-științifice și pot depinde de ipoteze care nu pot fi testate. Cosmologia diferă de astronomie prin aceea că prima se preocupă de Univers ca întreg, în timp ce acesta din urmă se ocupă de obiecte celeste individuale. Cosmologia fizică modernă este dominată de teoria Big Bang, care încearcă să reunească astronomia observațională și fizica particulelor; mai precis, o parametrizare standard a Big Bang-ului cu materie întunecată și energie întunecată, cunoscută sub numele de model Lambda-CDM.

……………………………..

5.1 Cosmologia fizică



(Nașterea Universului creat din noua ani de date WMAP. Imaginea dezvăluie fluctuații de temperatură vechi de 13,77 miliarde de ani (prezentate ca diferențe de culoare) care corespund germenilor care au devenit galaxii. Semnalul din galaxia noastră a fost scăzut folosind date multi-frecvență. Această imagine prezintă un interval de temperatură de ± 200 microKelvin.)

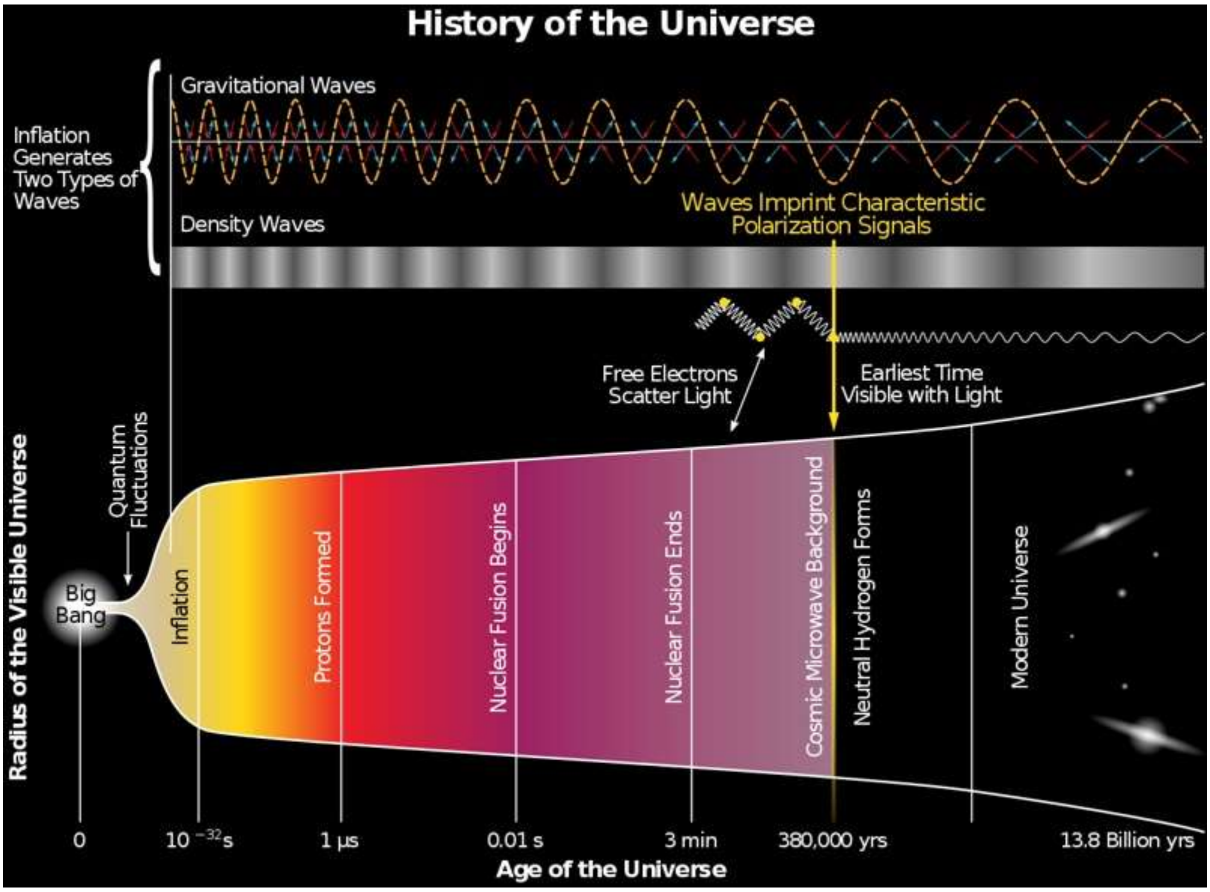
Cosmologia fizică este o ramură a cosmologiei care se ocupă de studiile structurilor la cea mai mare scală și a dinamicii universului, și de întrebări fundamentale despre originea, structura, evoluția și soarta acestuia. Cosmologia ca știință provine din principiul copernican, ceea ce implică faptul că corpurile celeste se supun legilor fizice identice cu cele de pe Pământ și mecanicii newtoniene, care au permis pentru prima dată să fie înțelese aceste legi fizice. Cosmologia fizică, așa cum se înțelege acum, a început odată cu dezvoltarea teoriei generale a relativității lui Albert Einstein în 1915, urmată de descoperiri observaționale majore în anii 1920: mai întâi, Edwin Hubble a descoperit că universul conține un număr imens de galaxii externe dincolo de Calea Laptelui; apoi, lucrările lui Vesto Slipher și ale altora a arătat că universul se extinde. Aceste progrese au făcut posibilă speculația despre originea universului și au permis ca teoria Big Bang, a lui Georges Lemaître, să fie modelul cosmologic principal. Unii cercetători încă susțin câteva cosmologii alternative; cu toate acestea, majoritatea cosmologilor sunt de acord că teoria Big Bang explică mai bine observațiile.

Progresele dramatice ale cosmologiei observaționale începând cu anii 1990, inclusiv fundalul cosmic de microunde, supernovele îndepărtate și monitorizarea deplasării spre roșu a galaxiilor, au dus la dezvoltarea unui model standard al cosmologiei. Acest model cere ca universul să conțină cantități mari de materie întunecată și energie întunecată, a căror natură nu este în prezent bine înțeleasă, dar modelul oferă previziuni detaliate care sunt în acord excelent cu multe observații diverse.

Cosmologia se bazează în mare măsură pe munca multor domenii disparate de cercetare în domeniul fizicii teoretice și aplicate. Domeniile relevante pentru cosmologie includ experimentele fizice ale particulelor și teoria aferentă, astrofizica teoretică și observațională, relativitatea generală, mecanica cuantică și fizica plasmei.

Istoricul subiectului

Cosmologia modernă a evoluat de-a lungul timpului cu teoria în tandem cu observarea. În 1916, Albert Einstein a publicat teoria relativității generale, care a oferit o descriere unificată a gravitației ca proprietate geometrică a spațiului și a timpului. La acea vreme, Einstein credea într-un univers static, dar a constatat că formularea sa inițială a teoriei nu a permis acest lucru. Acest lucru se datorează faptului că masele distribuite în univers atrag gravitațional și se deplasează reciproc în timp. Cu toate acestea, el a realizat că ecuațiile sale au permis introducerea unui termen constant care ar putea contracara forța atractivă a gravitației la scara cosmică. Einstein a publicat prima sa lucrare despre cosmologia relativistă în 1917, în care a adăugat această constantă cosmologică la ecuațiile sale de câmp pentru a le forța să modeleze un univers static. Modelul Einstein descrie un univers static; spațiul este finit și neîngrădit (analog cu suprafața unei sfere, care are o suprafață finită, dar fără margini). Totuși, acest așa numit model Einstein este instabil pentru perturbări mici - în cele din urmă va începe să se extindă sau să se contracteze. Mai târziu s-a constatat că modelul lui Einstein era doar unul dintr-un set mai larg de posibilități, toate fiind în concordanță cu relativitatea generală și cu principiul cosmologic. Soluțiile cosmologice ale relativității generale au fost găsite de Alexander Friedmann la începutul anilor 1920. Ecuațiile sale descriu universul Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker, care se poate extinde sau contracta și a cărui geometrie poate fi deschisă, plată sau închisă.

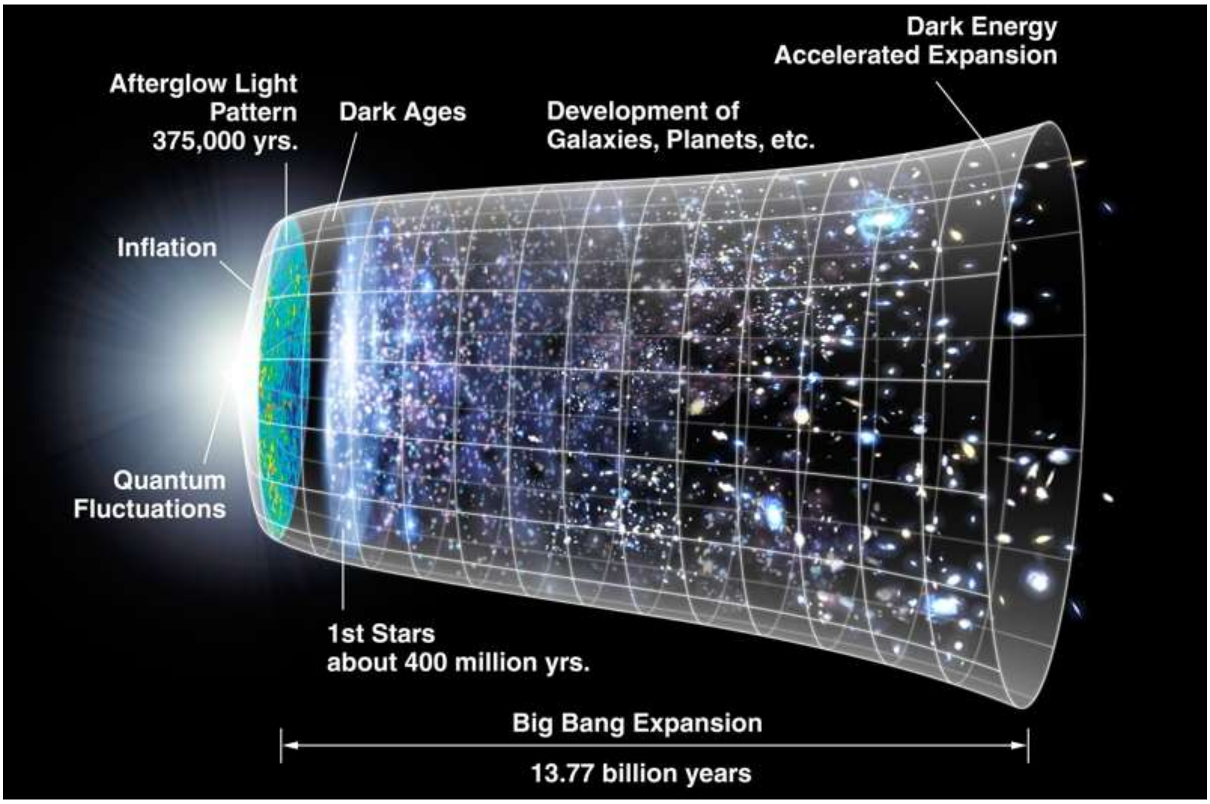


(Istoria Universului - undele gravitaționale se presupune că au apărut din inflația cosmică, o expansiune mai rapidă decât lumina imediat după Big Bang)

În anii 1910, Vesto Slipher (și mai târziu Carl Wilhelm Wirtz) au interpretat deplasarea spre roșu a nebuloaselor spirale ca o deplasare Doppler care indică faptul că se retrag dinspre Pământ. Cu toate acestea, este dificil să se determine distanța față de obiectele astronomice. O modalitate este de a compara dimensiunea fizică a unui obiect cu dimensiunea lui unghiulară, însă trebuie să existe o dimensiune fizică pentru aceasta. O altă metodă este de a măsura strălucirea unui obiect și de a presupune o luminozitate intrinsecă, din care distanța poate fi determinată folosind legea pătrată inversă. Datorită dificultății utilizării acestor metode, ei nu și-au dat seama că nebuloasele erau de fapt galaxii în afara Căii noastre a Laptelui, și nici nu au speculat despre implicațiile cosmologice. În 1927, preotul belgian romano-catolic Georges Lemaître a obținut în mod independent ecuațiile Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker și a propus, pe baza recesiunii nebuloaselor spirale, că universul a început cu "explozia" unui "atom primar" care mai târziu a fost numit Big Bang. În 1929, Edwin Hubble a oferit o bază observațională pentru teoria lui Lemaître. Hubble a arătat că nebuloasele spirale erau galaxii, determinându-le distanțele folosind măsurătorile strălucirii stelelor variabile Cefeide. A descoperit o relație între deplasarea spre roșu a unei galaxii și distanța ei. El a interpretat acest lucru ca o dovadă că galaxiile se retrag dinspre Pământ în toate direcțiile la viteze proporționale cu distanța lor. Acest fapt este acum cunoscut drept legea lui Hubble, deși factorul numeric Hubble a fost inițial eronat datorită faptului că nu e cunoșteau tipurile de variabile Cefeide.

…………………………………………

5.2 Big Bang



(Cronologia expansiunii metrice a spațiului, unde spațiul (inclusiv porțiunile ipotetice care nu sunt observabile ale universului) este reprezentat în fiecare moment de secțiunile circulare, iar în stânga, expansiunea dramatică are loc în epoca inflaționistă, iar la centru, expansiunea accelerează (concep artistic, nu la scară).)

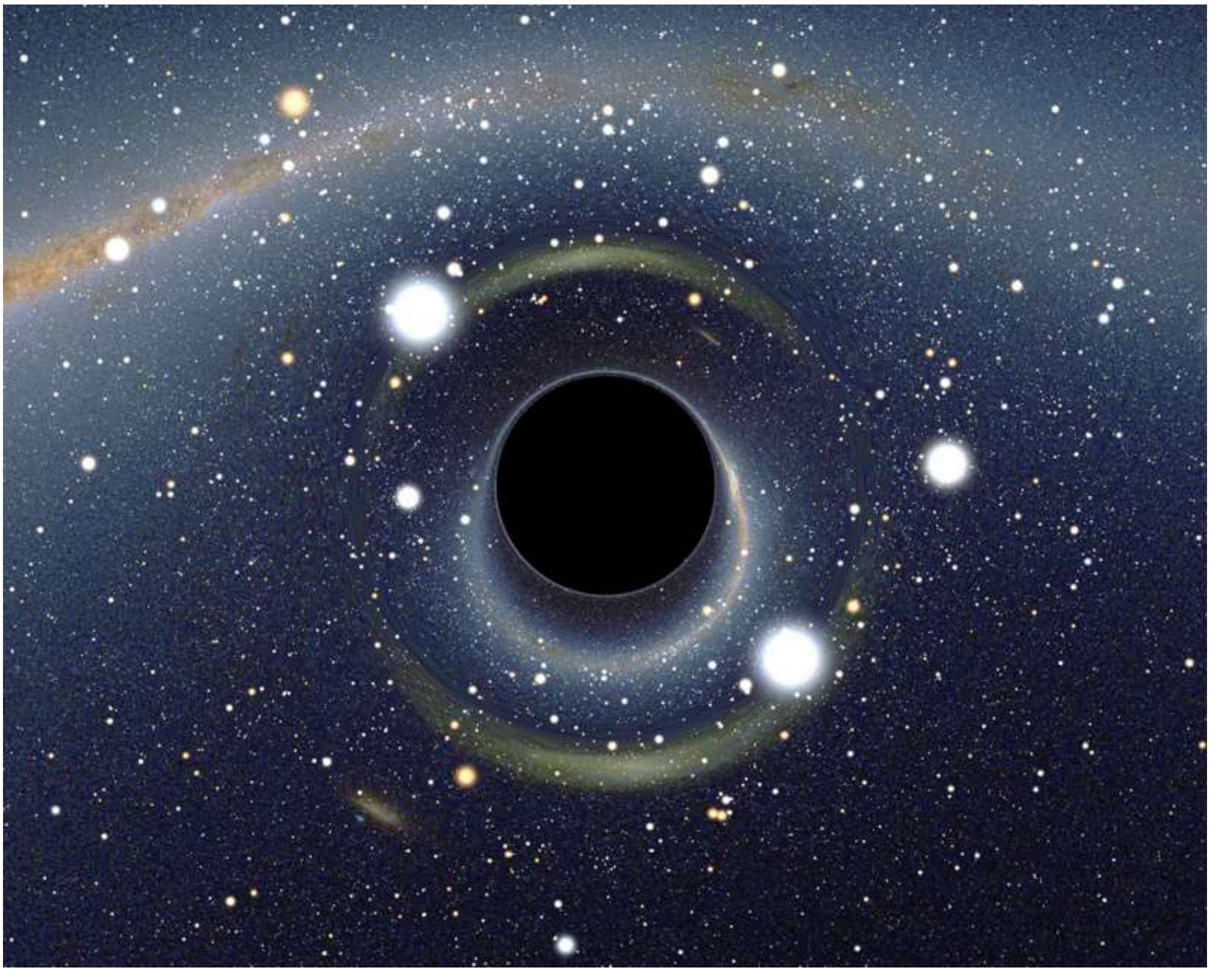
Teoria Big Bang este modelul cosmologic predominant pentru univers de la cele mai vechi perioade cunoscute, prin evoluția pe scară largă ulterioară. Modelul descrie modul în care universul s-a extins dintr-o stare de densitate foarte ridicată și temperatură ridicată și oferă o explicație cuprinzătoare pentru o gamă largă de fenomene, inclusiv abundența elementelor luminoase, fondul cosmic de microunde, structura la scară largă și legea lui Hubble. Dacă legile cunoscute ale fizicii sunt extrapolate la regimul cu densitate cea mai mare, rezultatul este o singularitate care este în mod obișnuit asociată cu Big Bang-ul. Fizicienii sunt nedeci;i dacă acest lucru înseamnă că universul a pornit de la o singularitate sau că cunoașterea actuală este insuficientă pentru a descrie universul în acel moment. Măsurători detaliate ale ratei de expansiune a universului plasează Big Bang-ul la aproximativ 13,8 miliarde de ani în urmă, ceea ce este astfel considerat vârsta universului. După expansiunea inițială, universul s-a răcit suficient pentru a permite formarea de particule subatomice și mai târziu de atomi simpli. Nori uriași ai acestor elemente primordiale s-au coalizat ulterior prin gravitate în halos de materie întunecată, formând eventual stelele și galaxiile vizibile astăzi.

După ce Georges Lemaître a remarcat pentru prima dată în 1927 că un univers în expansiune poate fi urmărit înapoi până la un punct unic, oamenii de știință au construit pe ideea sa de expansiune cosmică. Comunitatea științifică a fost odată împărțită între susținătorii a două teorii diferite, Big Bang și teoria Starea de echilibru, dar o gamă largă de dovezi empirice au favorizat puternic Big Bang-ul care este acum universal acceptat. În 1929, din analiza schimbărilor roșii galactice, Edwin Hubble a concluzionat că galaxiile se îndepărtează;

aceasta este o dovadă observațională importantă în concordanță cu ipoteza unui univers în expansiune. În 1964, a fost descoperită radiația cosmică a fundalului mic, care a fost o dovadă esențială în favoarea modelului Big Bang, deoarece această teorie a prezis existența radiației de fond în întregul univers înainte de a fi descoperită. Mai recent, măsurătorile redirecționărilor roșii ale supernovelor arată că expansiunea universului se accelerează, o observație atribuită existenței energiei întunecate. Legile fizice cunoscute ale naturii pot fi folosite pentru a calcula în detaliu caracteristicile universului înapoi în timp către o stare inițială de densitate și temperatură extremă.

………………………………………..

5.4 Găuri negre



(Vedere simulată a unei găuri negre în fața Marelui Nor Magellanic. Observați efectul de gravitație al lentilei, care produce două vederi lărgite dar foarte distorsionate ale Norului. În partea de sus, discul Căii Laptelui apare distorsionat într-un arc. https://en.wikipedia.org/wiki/File:BH_LMC.png)

O gaură neagră este o regiune a spațiu-timpului, care prezintă efecte gravitaționale atât de puternice încât nici măcar particulele și radiațiile electromagnetice, cum ar fi lumina, nu pot scăpa din interior. Teoria relativității generale prezice că o masă suficient de compactă poate deforma spațiu-timpul pentru a forma o gaură neagră. Limita regiunii din care nu este posibilă evadarea se numește *orizontul evenimentului*. Deși orizontul evenimentului are un

efect enorm asupra soartei și a circumstanțelor unui obiect care îl traversează, nu se observă caracteristici detectabile local. În multe privințe, o gaură neagră acționează ca un corp negru ideal, deoarece nu reflectă lumină. În plus, teoria câmpului cuantic în spațiu curbat prezice faptul că orizonturile evenimentului emit radiație Hawking, cu același spectru ca un corp negru cu o temperatură invers proporțională cu masa sa. Această temperatură este de ordinul a miliardimi de kelvin pentru găurile negre de masă stelară, făcându-le în esență imposibil de observat.

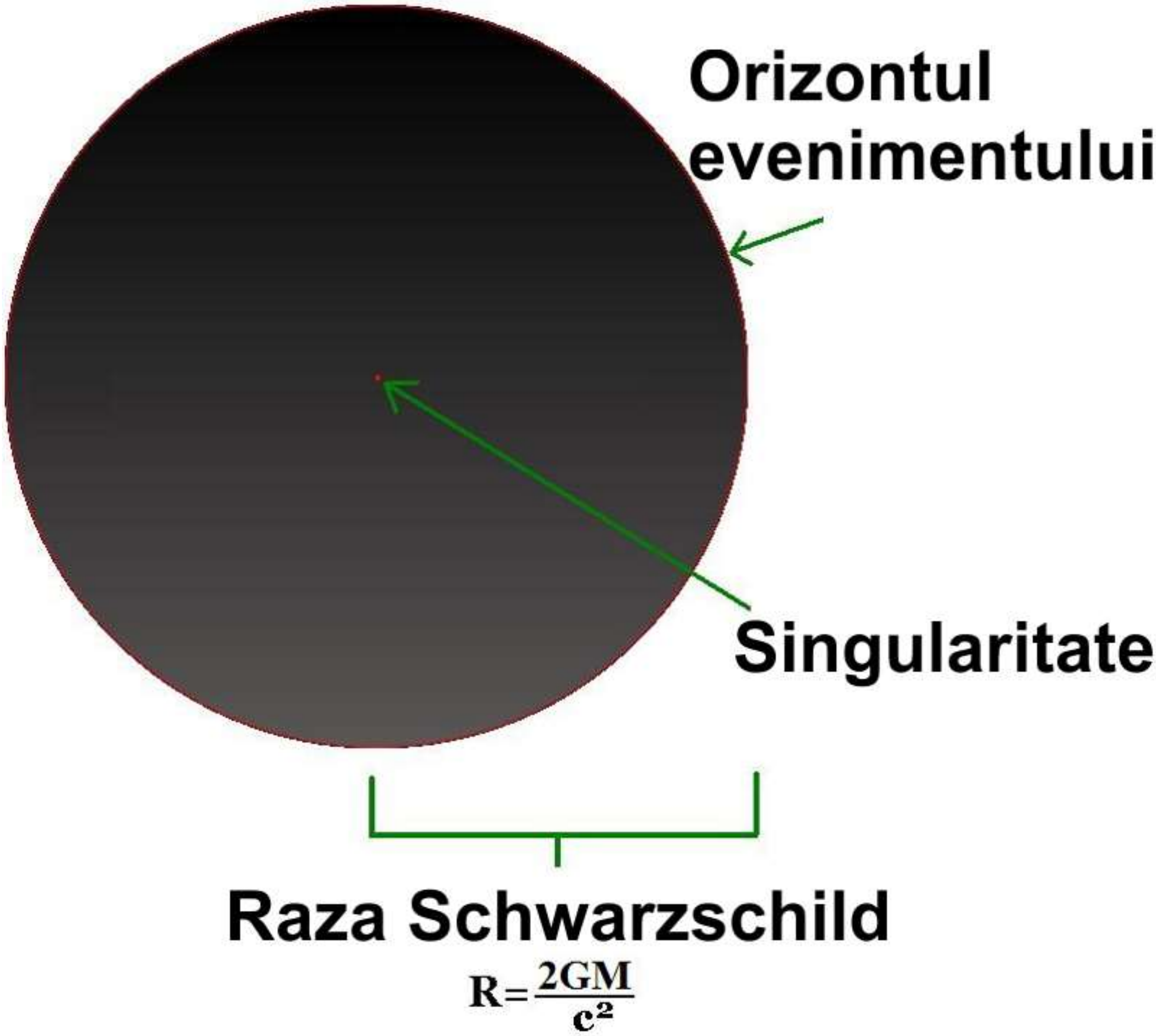
Obiectele ale căror câmpuri gravitaționale sunt prea puternice pentru ca lumina să scape au fost considerate pentru prima dată în secolul al XVIII-lea de către John Michell și Pierre-Simon Laplace. Prima soluție modernă a relativității generale care ar caracteriza o gaură neagră a fost găsită de Karl Schwarzschild în 1916, deși interpretarea sa ca regiune a spațiului din care nu poate scăpa nimic a fost publicată pentru prima dată de către David Finkelstein în 1958. Găurile negre au fost considerate mult timp o curiozitate matematică; abia în anii 1960 lucrările teoretice au arătat că era o predicție generică a relativității generale. Descoperirea stelelor neutronice a dat naștere interesului pentru obiectele compacte colapsate gravitațional, ca o posibilă realitate astrofizică.

Găurile negre de mase stelare sunt de așteptat să se formeze atunci când stelele foarte masive se prăbușesc la sfârșitul ciclului lor de viață. După ce s-a format o gaură neagră, ea poate continua să crească absorbind masa din jurul ei. Absorbind alte stele și fuzionând cu alte găuri negre, se pot forma găuri negre supermasive de milioane de mase solare. Există un consens general că găurile negre supermasive există în centrele celor mai multe galaxii.

În ciuda interiorului său invizibil, prezența unei găuri negre poate fi dedusă prin interacțiunea sa cu alte materii și cu radiațiile electromagnetice cum ar fi lumina vizibilă. Materia care cade pe o gaură neagră poate forma un disc extern de acreție încălzit de frecare, formând unele dintre cele mai strălucitoare obiecte din univers. Dacă există alte stele care orbitează o gaură neagră, orbitele lor pot fi folosite pentru a determina masa și locația găurii negre. Astfel de observații pot fi folosite pentru a exclude posibilele alternative, cum ar fi stelele neutronice. În acest fel, astronomii au identificat numeroși candidați ca gaură neagră stelară în sistemele binare, și au stabilit că sursa radio cunoscută sub numele de Sagittarius A*, în centrul galaxiei Calea Laptelui, conține o gaură neagră supermasivă de aproximativ 4,3 milioane de mase solare.

…………………………………….

Proprietăți și structură



(O simplă ilustrare a unei găuri negre care nu se rotește.
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Black_hole_details.JPG)

Teorema calviției afirmă că, odată ce atinge o stare stabilă după formare, o gaură neagră are doar trei proprietăți fizice independente: masa, sarcina și momentul unghiular. Orice două găuri negre care împărtășesc aceleași valori pentru aceste proprietăți sau parametri nu se pot distinge conform mecanicii clasice (adică non-cuantică).

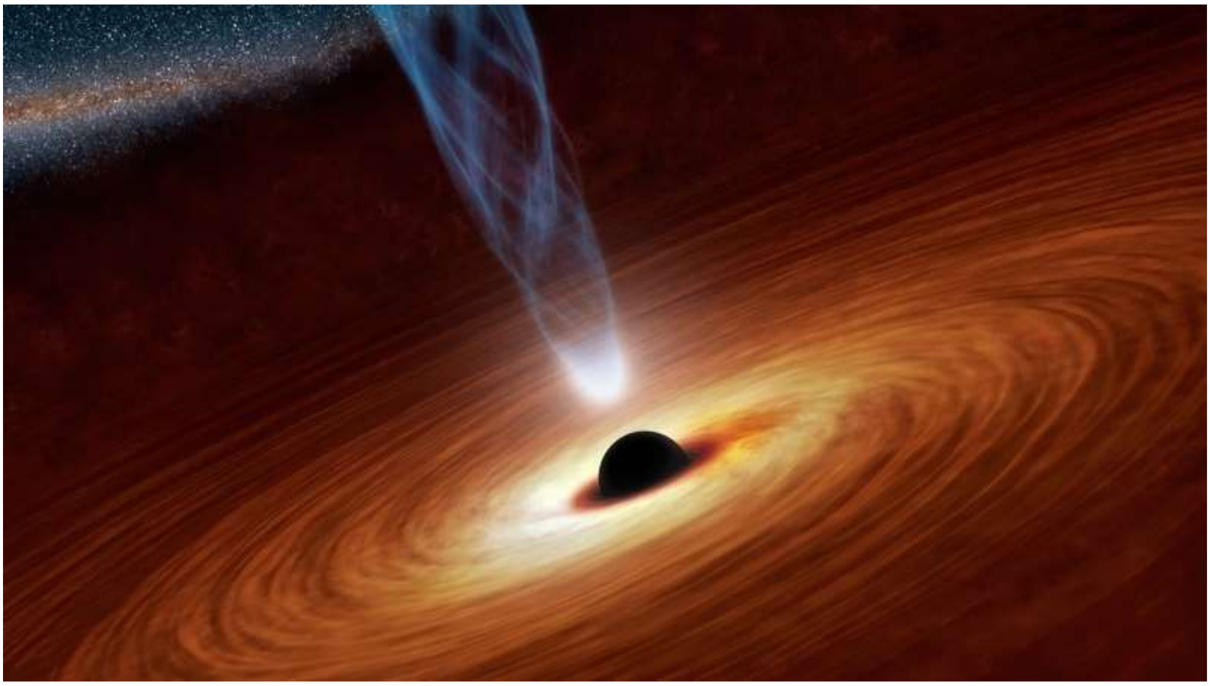
Aceste proprietăți sunt speciale, deoarece sunt vizibile din afara unei găuri negre. De exemplu, o gaură neagră încărcată respinge alte sarcini se același semn ca orice alt obiect încărcat. În mod similar, masa totală dintr-o sferă care conține o gaură neagră poate fi găsită prin utilizarea analogului gravitațional al legii lui Gauss, masa ADM, departe de gaura neagră. De asemenea, impulsul unghiular poate fi măsurat de la distanță folosind deplasarea cadrelor de câmpul gravitmagnetic.

Atunci când un obiect cade într-o gaură neagră, orice informație despre forma obiectului sau distribuția sarcinii pe acesta este distribuită uniform de-a lungul orizontului găurii negre și este pierdută de observatorii din afară. Comportamentul orizontului în această situație este un

sistem disipativ care este aproape analog cu cel al unei membrane conductoare elastice cu frecare și rezistență electrică - paradigma membranei. Acest lucru este diferit de alte teorii de câmp, cum ar fi electromagnetismul, care nu au nicio frecare sau rezistivitate la nivel microscopic, deoarece sunt reversibile în timp. Deoarece o gaură neagră atinge în cele din urmă o stare stabilă cu doar trei parametri, nu există nicio modalitate de a evita pierderea informațiilor despre condițiile inițiale: câmpurile gravitaționale și electrice ale unei găuri negre oferă foarte puține informații despre ceea ce a intrat. Informațiile pierdute includ orice cantitate care nu poate fi măsurată departe de orizontul găurii negre, inclusiv numere cuantice aproximativ conservate, cum ar fi numărul total de barioni și numărul de leptoni. Acest comportament este atât de confuz încât a fost numit paradoxul pierderii informațiilor de gaura neagră.

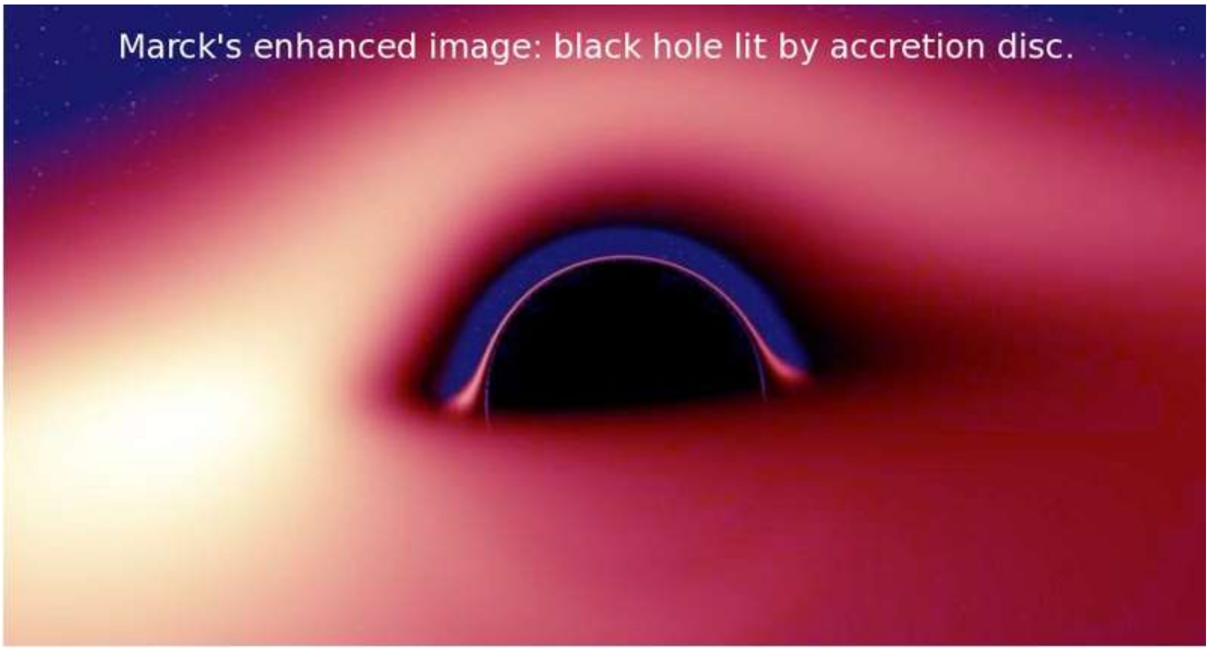
…………………………………..

Accreția materiei



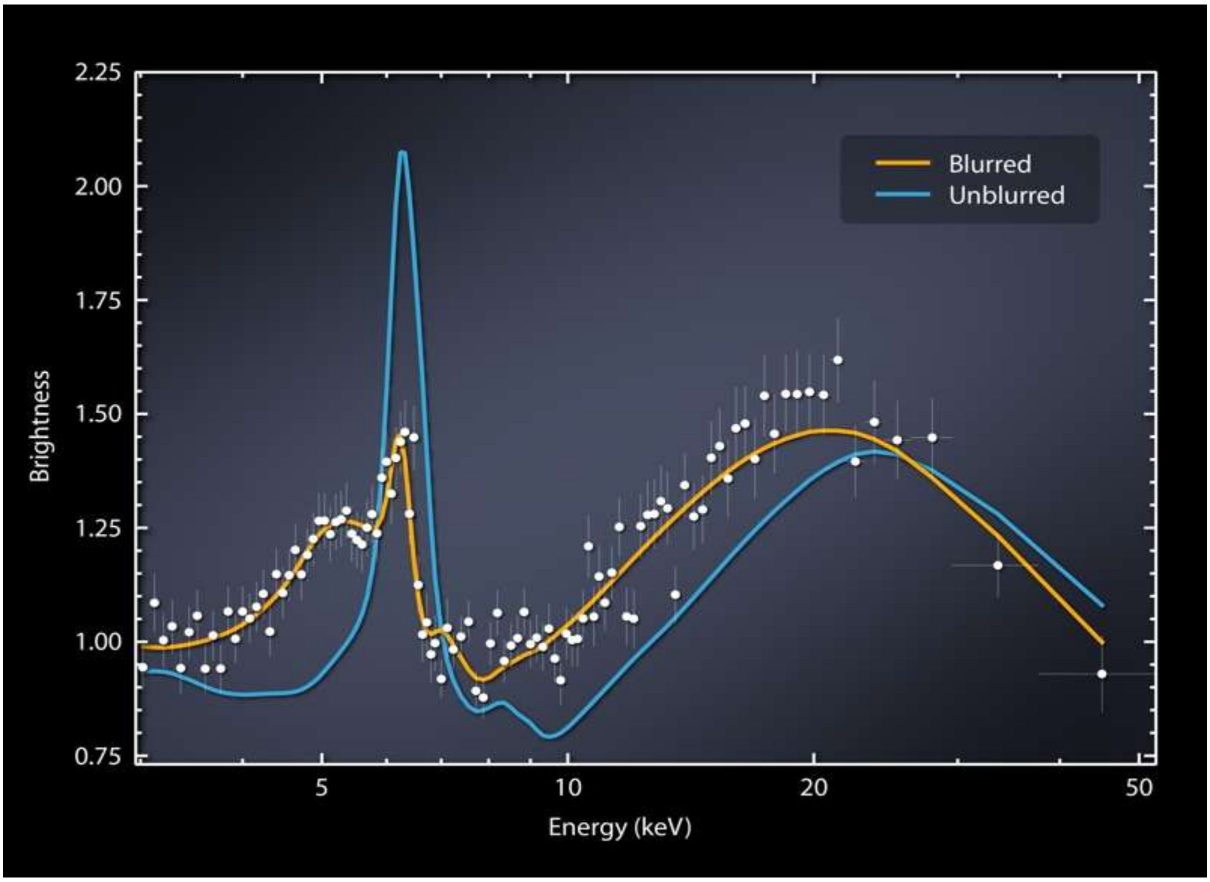
(Gaură neagră cu coroană, sursă de raze X (conceptul artistului).

Datorită conservării momentului unghiular, gazul care se încadrează în binele gravitațional creat de un obiect masiv va forma în mod obișnuit o structură asemănătoare discului în jurul obiectului. Expresiile artiștilor, cum ar fi reprezentarea însoțitoare a unei găuri negre cu corona, descriu în mod obișnuit gaura neagră ca și cum ar fi un corp spațiu plat care ascunde partea discului chiar în spatele ei, dar, în realitate, lentilitatea gravitațională ar denatura imaginea disc de accretion.



(Vedere previzibilă din afara orizontului unei găuri negre Schwarzschild aprinsă de un disc de acumulare subțire)

Într-un astfel de disc, frecarea ar determina un impuls unghiular să fie transportat în afară, permițând materiei să cadă mai departe spre interior, eliberând astfel energia potențială și crescând temperatura gazului.



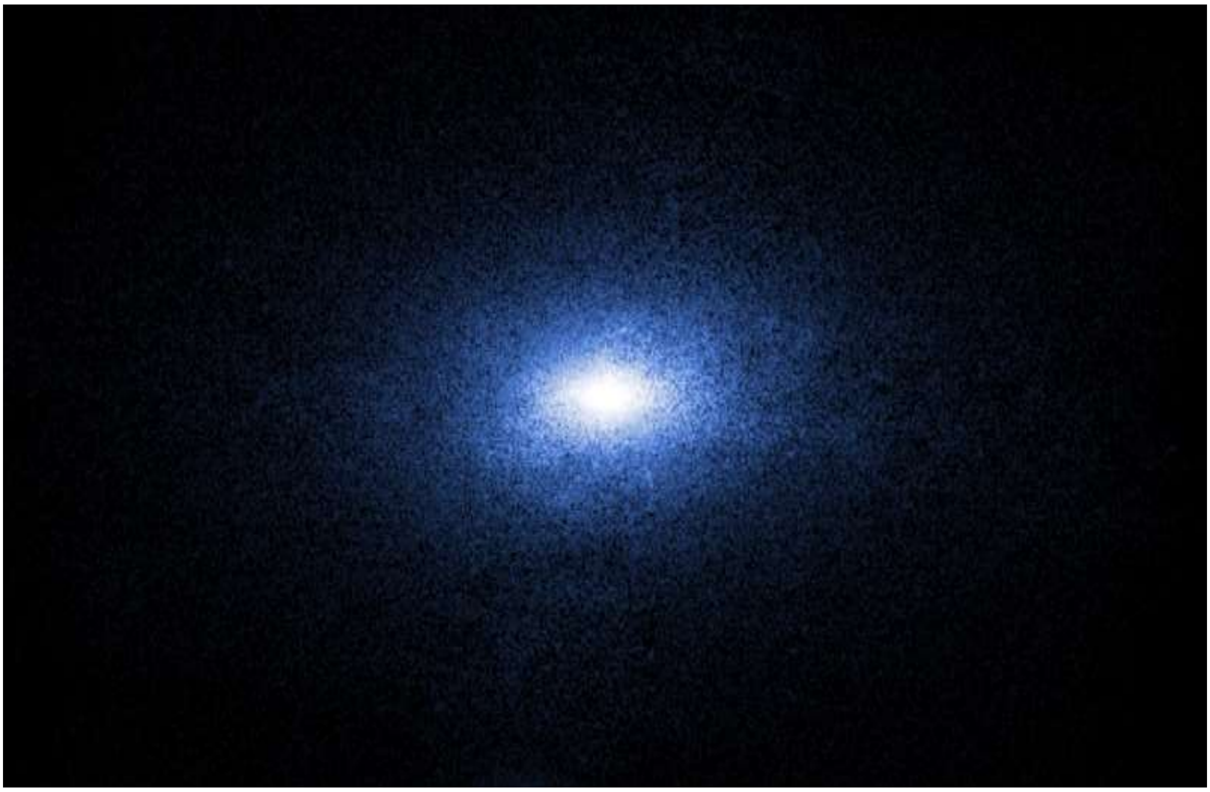
(Estomparea razelor X lângă gaura neagră (NuSTAR, 12 august 2014).

Atunci când obiectul care se acumulează este o stea neutronică sau o gaură neagră, gazul din discul de acumulare interioară orbitează la viteze foarte mari datorită apropierii de obiectul compact. Frecarea rezultată este atât de semnificativă încât încălzește discul interior la temperaturi la care emite cantități mari de radiații electromagnetice (în principal raze X). Aceste surse luminoase de raze X pot fi detectate de telescoape. Acest proces de acumulare este unul dintre cele mai eficiente procese de producere a energiei cunoscute; până la 40% din masa de odihnă a materialului acreditat poate fi emis ca radiație. (În fuziunea nucleară numai aproximativ 0,7% din masa de odihnă va fi emisă ca energie.) În multe cazuri, discurile de acumulare sunt însoțite de jeturi relativiste care sunt emise de-a lungul poliilor, care îndepărtează o mare parte din energie. Mecanismul de creare a acestor jet-uri nu este în prezent bine înțeles, în parte datorită datelor insuficiente.

Ca atare, multe dintre fenomenele energetice ale universului au fost atribuite acumularii de materie pe găurile negre. În special, nucleele galactice active și quasarii sunt considerate a fi discurile de acumulare a găurilor negre supermassive. În mod similar, binarele cu raze X sunt în general acceptate a fi sisteme binare de stele în care una dintre cele două stele este un obiect compact care atrage materia de la tovarășul său. S-a sugerat, de asemenea, că unele surse de raze X ultra-limpezi pot fi discurile de acumulare a găurilor negre de masă intermediară.

În noiembrie 2011, a fost raportată prima observație directă a unui disc de acumulare quasar în jurul unei gauri negre supermassive.

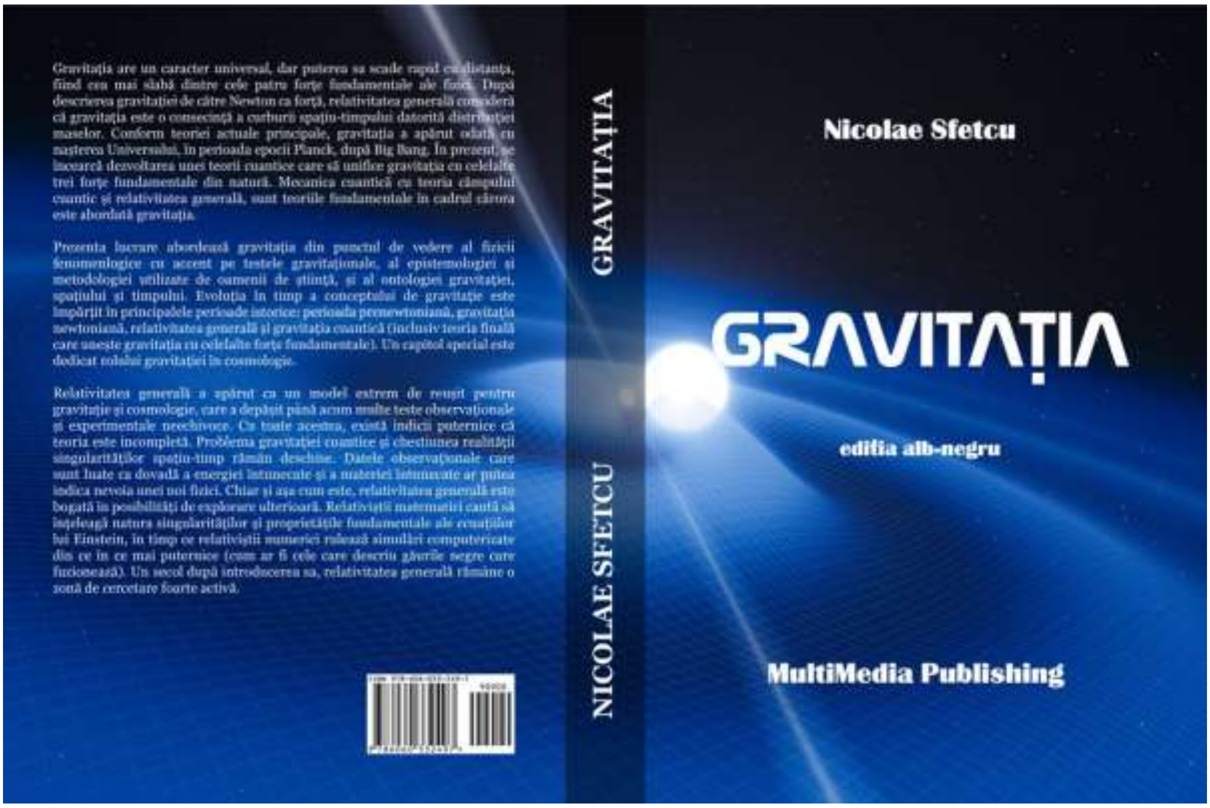
Binare cu raze X



(O imagine luată de Chandra X-Ray Observatory, a lui Cygnus X-1, care a fost primul candidat puternic gaura neagră descoperită)

Binarele cu raze X sunt sisteme binare de stele care emit o mare parte din radiațiile lor în partea radiografică a spectrului. Aceste emisii de raze X sunt, în general, considerate a rezulta atunci când una dintre stele (obiect compact) se acumulează de la o altă stea (obișnuită). Prezența unei stele obișnuite într-un astfel de sistem oferă o oportunitate de a studia obiectul central și de a determina dacă acesta ar putea fi o gaură neagră.

Cartea



Prezenta lucrare abordează gravitația din punctul de vedere al fizicii fenomenlogice cu accent pe testele gravitaționale, al epistemologiei și metodologiei utilizate de oamenii de știință, și al ontologiei gravitației, spațiului și timpului.

Gravitația are un caracter universal, dar puterea sa scade rapid cu distanța, fiind cea mai slabă dintre cele patru forțe fundamentale ale fizici. După descrierea gravitației de către Newton ca forță, relativitatea generală consideră că gravitația este o consecință a curburii spațiu-timpului datorită distribuției maselor. Conform teoriei actuale principale, gravitația a apărut odată cu nașterea Universului, în perioada epocii Planck, după Big Bang. În prezent, se încearcă dezvoltarea unei teorii cuantice care să unifice gravitația cu celelalte trei forțe fundamentale din natură. Mecanica cuantică cu teoria câmpului cuantic și relativitatea generală, sunt teoriile fundamentale în cadrul cărora este abordată gravitația.

Evoluția în timp a conceptului de gravitație este împărțit în principalele perioade istorice: perioada prenewtoniană, gravitația newtoniană, relativitatea generală și gravitația cuantică (inclusiv teoria finală care unește gravitația cu celelalte forțe fundamentale). Un capitol special este dedicat rolului gravitației în cosmologie.

Relativitatea generală a apărut ca un model extrem de reușit pentru gravitație și cosmologie, care a depășit până acum multe teste observaționale și experimentale neechivoce. Cu toate acestea, există indicii puternice că teoria este incompletă. Problema gravitației cuantice și chestiunea realității singularităților spațiu-timp rămân deschise. Datele observaționale care sunt luate ca dovadă a energiei întunecate și a materiei întunecate ar putea indica nevoia unei noi fizici. Chiar și așa cum este, relativitatea generală este bogată în posibilități de explorare ulterioară. Relativiștii matematici caută să înțeleagă natura singularităților și proprietățile fundamentale ale ecuațiilor lui Einstein, în timp ce relativiștii numerici rulează simulări computerizate din ce în ce mai puternice (cum ar fi cele care descriu găurile negre care fuzionează). Un secol după introducerea sa, relativitatea generală rămâne o zonă de cercetare foarte activă.

MultiMedia Publishing https://www.setthings.com/ro/e-books/gravitatia/
- Digital: EPUB (ISBN 978-606-033-250-3), Kindle (ISBN 978-606-033-252-7), PDF (ISBN 978-606-033-251-0)
- Tipărit, Ediția alb-negru, Format B5 Academic: ISBN 978-606-033-249-7

Smashwords (EPUB): https://www.smashwords.com/books/view/952046
Google (EPUB, PDF): https://books.google.ro/books?id=XuWmDwAAQBAJ

Facebook: https://www.facebook.com/Gravitatia/

Cuprins

Despre autor

Nicolae Sfetcu

Asociat şi manager MultiMedia SRL și Editura MultiMedia Publishing.

Partener cu MultiMedia în mai multe proiecte de cercetare-dezvoltare la nivel naţional şi european

Coordonator de proiect European Teleworking Development Romania (ETD)

Membru al Clubului Rotary București Atheneum

Cofondator şi fost preşedinte al Filialei Mehedinţi al Asociaţiei Române pentru Industrie Electronica şi Software Oltenia

Iniţiator, cofondator şi preşedinte al Asociaţiei Române pentru Telelucru şi Teleactivităţi

Membru al Internet Society

Cofondator şi fost preşedinte al Filialei Mehedinţi a Asociaţiei Generale a Inginerilor din România

Inginer fizician - Licenţiat în științe, Fizică, specialitatea Fizică nucleară. Master în Filosofie.

De același autor

Alte cărți scrise sau traduse de același autor:

- A treia lege a lui Darwin - O parodie reală a societăţii actuale (RO)
- Ghid Marketing pe Internet (RO)
- Bridge Bidding - Standard American Yellow Card (EN)
- Telelucru (Telework) (RO)
- Harta politică - Dicţionar explicativ (RO)
- Beginner's Guide for Cybercrime Investigators (EN)
- How to... Marketing for Small Business (EN)
- London: Business, Travel, Culture (EN)
- Fizica simplificată (RO)
- Ghid jocuri de noroc - Casino, Poker, Pariuri (RO)
- Ghid Rotary International - Cluburi Rotary (RO)
- Proiectarea, dezvoltarea şi întreţinerea siturilor web (RO)
- Facebook pentru afaceri şi utilizatori (RO)
- Întreţinerea şi repararea calculatoarelor (RO)
- Corupţie - Globalizare - Neocolonialism (RO)
- Traducere şi traducători (RO)
- Small Business Management for Online Business - Web Development, Internet Marketing, Social Networks (EN)
- Sănătate, frumuseţe, metode de slăbire (RO)
- Ghidul autorului de cărţi electronice (RO)
- Editing and Publishing e-Books (EN)
- Pseudoştiinţă? Dincolo de noi... (RO)
- European Union Flags - Children's Coloring Book (EN)
- Totul despre cafea - Cultivare, preparare, reţete, aspecte culturale (RO)
- Easter Celebration (EN)
- Steagurile Uniunii Europene - Carte de colorat pentru copii (RO)
- Paşti (Paşte) - Cea mai importantă sărbătoare creştină (RO)
- Moartea - Aspecte psihologice, ştiinţifice, religioase, culturale şi filozofice (RO)
- Promovarea afacerilor prin campanii de marketing online (RO)
- How to Translate - English Translation Guide in European Union (EN)
- ABC Petits Contes (Short Stories) (FR-EN), par Jules Lemaître
- Short WordPress Guide for Beginners (EN)
- ABC Short Stories - Children Book (EN), by Jules Lemaître
- Procesul (RO), de Franz Kafka
- Fables et légendes du Japon (Fables and Legends from Japan) (FR-EN), par Claudius Ferrand
- Ghid WordPress pentru începători (RO)
- Fables and Legends from Japan (EN), by Claudius Ferrand
- Ghid Facebook pentru utilizatori (RO)
- Arsène Lupin, gentleman-cambrioleur (Arsene Lupin, The Gentleman Burglar) (FR-EN), par Maurice Leblanc

- How to SELL (eCommerce) - Marketing and Internet Marketing Strategies (EN)
- Arsène Lupin, The Gentleman Burglar (EN), by Maurice Leblanc
- Bucharest Tourist Guide (Ghid turistic București) (EN-RO)
- Ghid turistic București (RO)
- Ghid WordPress pentru dezvoltatori (RO)
- French Riviera Tourist Guide (Guide touristique Côte d'Azur) (EN-FR)
- Guide touristique Côte d'Azur (FR)
- Ghid pagini Facebook - Campanii de promovare pe Facebook (RO)
- Management, analize, planuri și strategii de afaceri (RO)
- Guide marketing Internet pour les débutants (FR)
- Gambling games - Casino games (EN)
- Death - Cultural, philosophical and religious aspects (EN)
- Indian Fairy Tales (Contes de fées indiens) (EN-FR), by Joseph Jacobs
- Contes de fées indiens (FR), par Joseph Jacobs
- Istoria timpurie a cafelei (RO)
- Londres: Affaires, Voyager, Culture (London: Business, Travel, Culture) (FR-EN)
- Cunoaștere și Informații (RO)
- Poker Games Guide - Texas Hold 'em Poker (EN)
- Gaming Guide - Gambling in Europe (EN)
- Crăciunul - Obiceiuri și tradiții (RO)
- Christmas Holidays (EN)
- Introducere în Astrologie (RO)
- Psihologia mulțimilor (RO), de Gustave Le Bon
- Anthologie des meilleurs petits contes français (Anthology of the Best French Short Stories) (FR-EN)
- Anthology of the Best French Short Stories (EN)
- Povestea a trei generații de fermieri (RO)
- Web 2.0 / Social Media / Social Networks (EN)
- The Book of Nature Myths (Le livre des mythes de la nature) (EN-FR), by Florence Holbrook
- Le livre des mythes de la nature (FR), par Florence Holbrook
- Misterul Stelelor Aurii - O aventură în Uniunea Europeană (RO)
- Anthologie des meilleures petits contes françaises pour enfants (Anthology of the Best French Short Stories for Children) (FR-EN)
- Anthology of the Best French Short Stories for Children (EN)
- O nouă viață (RO)
- A New Life (EN)
- The Mystery of the Golden Stars - An adventure in the European Union (Misterul stelelor aurii - O aventură în Uniunea Europeană) (EN-RO)
- ABC Petits Contes (Scurte povestiri) (FR-RO), par Jules Lemaître
- The Mystery of the Golden Stars (Le mystère des étoiles d'or) - An adventure in the European Union (Une aventure dans l'Union européenne) (EN-FR)
- ABC Scurte povestiri - Carte pentru copii (RO), de Jules Lemaitre
- Le mystère des étoiles d'or - Une aventure dans l'Union européenne (FR)
- Poezii din Titan Parc (RO)
- Une nouvelle vie (FR)
- Povestiri albastre (RO)
- Candide - The best of all possible worlds (EN), by Voltaire
- Șah - Ghid pentru începători (RO)
- Le papier peint jaune (FR), par Charlotte Perkins Gilman

- Blue Stories (EN)
- Bridge - Sisteme și convenții de licitație (RO)
- Retold Fairy Tales (Poveşti repovestite) (EN-RO), by Hans Christian Andersen
- Poveşti repovestite (RO), de Hans Christian Andersen
- Legea gravitației universale a lui Newton (RO)
- Eugenia - Trecut, Prezent, Viitor (RO)
- Teoria specială a relativității (RO)
- Călătorii în timp (RO)
- Teoria generală a relativității (RO)
- Contes bleus (FR)
- Sunetul fizicii - Acustica fenomenologică (RO)
- Teoria relativității - Relativitatea specială și relativitatea generală (RO), de Albert Einstein
- Fizica atomică și nucleară fenomenologică (RO)
- Louvre Museum - Paintings (EN)
- Materia: Solide, Lichide, Gaze, Plasma - Fenomenologie (RO)
- Căldura - Termodinamica fenomenologică (RO)
- Lumina - Optica fenomenologică (RO)
- Poems from Titan Park (EN)
- Mecanica fenomenologică (RO)
- Solaris (Andrei Tarkovsky): Umanitatea dezumanizată (RO)
- De la Big Bang la singularități și găuri negre (RO)
- Schimbări climatice - Încălzirea globală (RO)
- Electricitate și magnetism - Electromagnetism fenomenologic (RO)
- Știința - Filosofia științei (RO)
- La Platanie - Une aventure dans le monde à deux dimensions (FR)
- Climate Change - Global Warming (EN)
- Poèmes du Parc Titan (FR)
- Mecanica cuantică fenomenologică (RO)
- Isaac Newton despre acțiunea la distanță în gravitație - Cu sau fără Dumnezeu? (RO)
- The singularities as ontological limits of the general relativity (EN)
- Distincția dintre falsificare și respingere în problema demarcației la Karl Popper (RO)
- Buclele cauzale în călătoria în timp (RO)
- Epistemologia serviciilor de informaţii (RO)
- Evoluția și etica eugeniei (RO)
- Filosofia tehnologiei blockchain - Ontologii (RO)
- Imre Lakatos: Euristica și toleranța metodologică (RO)
- Controversa dintre Isaac Newton și Robert Hooke despre prioritatea în legea gravitației (RO)
- Singularitățile ca limite ontologice ale relativității generale (RO)
- Filmul Solaris, regia Andrei Tarkovsky – Aspecte psihologice și filosofice (RO
- Tehnologia Blockchain - Bitcoin (RO)
- Fizica fenomenologică - Compendiu - Volumul 1 + 2 (RO)
- Causal Loops in Time Travel (EN)
- Chinese Fables and Folk Stories (Fables et histoires populaire chinoises) - Mary Hayes Davis, Chow-Leung (EN-FR)
- Isaac Newton on the action at a distance in gravity: With or without God? (EN)
- Isaac Newton vs Robert Hooke sur la loi de la gravitation universelle (FR)
- Epistemology of Intelligence Agencies (EN)

- The distinction between falsification and refutation in the demarcation problem of Karl Popper (EN)
- Isaac Newton vs. Robert Hooke on the law of universal gravitation (EN)
- Evolution and Ethics of Eugenics (EN)
- Solaris, directed by Andrei Tarkovsky - Psychological and philosophical aspects (EN)
- La philosophie de la technologie blockchain - Ontologies (FR)
- Philosophy of Blockchain Technology - Ontologies (EN)
- Isaac Newton sur l'action à distance en gravitation : Avec ou sans Dieu ? (FR)
- Imre Lakatos: L'heuristique et la tolérance méthodologique (FR)
- Épistémologie des services de renseignement (FR)
- Boucles causales dans le voyage dans le temps (FR)
- Le film Solaris, réalisé par Andrei Tarkovski - Aspects psychologiques et philosophiques (FR)
- Les singularités comme limites ontologiques de la relativité générale (FR)
- Etica Big Data în cercetare (RO)
- Teorii cauzale ale referinței pentru nume proprii (RO)
- La distinction entre falsification et rejet dans le problème de la démarcation de Karl Popper (FR)
- Epistemologia gravitației experimentale – Raționalitatea științifică (RO)
- The Adventures of a Red Ant, by Henri de la Blanchère (EN)
- Big Data (RO)
- Tapetul galben, de Charlotte Perkins Gilman (RO)
- Evolution et éthique de l'eugénisme (FR)
- Imre Lakatos: Methodological Tolerance and Heuristic (EN)
- Gravitația (RO)

Contact

Email: nicolae@sfetcu.com
Skype: nic01ae

Facebook/Messenger: https://www.facebook.com/nicolae.sfetcu
Twitter: http://twitter.com/nicolae
LinkedIn: http://www.linkedin.com/in/nicolaesfetcu
YouTube: https://www.youtube.com/c/NicolaeSfetcu

Editura

MultiMedia Publishing

*web design, comerţ electronic, alte aplicaţii web * internet marketing, seo, publicitate online, branding * localizare software, traduceri engleză şi franceză * articole, tehnoredactare computerizată, secretariat * prezentare powerpoint, word, pdf, editare imagini, audio, video * conversie, editare şi publicare cărţi tipărite şi electronice, isbn*

Tel./ WhatsApp: 0040 745 526 896
Email: office@multimedia.com.ro

MultiMedia: http://www.multimedia.com.ro/
Online Media: https://www.setthings.com/

Facebook: https://www.facebook.com/multimedia.srl/
Twitter: http://twitter.com/multimedia
LinkedIn: https://www.linkedin.com/company/multimedia-srl/